SÉRIE
DE LA GESTION
DE L'ÉNERGIE

18

À L'INTENTION
DES INDUSTRIES,
COMMERCES
ET INSTITUTIONS

Point de vue architectural

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada
Canada

PRÉFACE

L'art et la science de la gestion de l'énergie ont accompli des progrès remarquables au cours de la dernière décennie. La gestion de l'énergie est devenue une discipline sérieuse dans le cadre du processus de gestion de la plupart des entreprises qui connaissent le succès.

D'abord, au début des années 70, on a mis sur pied des programmes d'économie d'énergie afin de réduire la menace de pénurie d'énergie que pesait sur le Canada, de même que la dépendance du pays à l'endroit du pétrole étranger. Toutefois, la hausse vertigineuse des prix n'a pas tardé a donner une signification nouvelle à l'expression «économie d'énergie»: réduire le coût de l'énergie.

Nombre d'industries, de commerces et d'organismes publics ont relevé le défi et abaissé les coûts d'énergie jusque dans une proportion de 50%. On est ainsi arrivé à utiliser l'énergie de façon rationnelle, grâce à des mesures telles que des programmes d'information à l'intention du personnel, des moyens d'entretien plus à point, la simple élimination du gaspillage, et en mettant de l'avant des projets aptes à moderniser ou améliorer les installations et l'équipement.

Pour en arriver maintenant à économiser d'avantage l'énergie, il importe de mieux connaître la technologie et ses applications en plus d'avoir recours à des appareils à haut rendement énergétique.

A la demande du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne, du Programme des groupes de travail sur la gestion de l'énergie dans les secteurs commercial et institutionnel, et d'associations professionnelles et commerciales intéressées, la Division de l'énergie industrielle du ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources a élaboré une série de modules techniques portant sur la gestion de l'énergie.

Ces manuels aideront les gestionnaires et le personnel d'exploitation à découvrir les possibilités de gestion de l'énergie dans leur cadre de travail. On y trouve une quantité de renseignements pratiques, notamment des équations mathématiques, des renseignements généraux sur des techniques éprouvées, ainsi que des exemples concrets d'économie d'énergie.

Pour obtenir de plus amples renseignements concernant les modules figurant dans la liste qui suit ou la documentation utilisée dans le cadre des ateliers, y compris les études de cas, veuillez écrire à l'adresse suivante:

La Division de la gestion de l'énergie dans les
entreprises et dans le secteur gouvernemental
Direction des économies d'énergie
Ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources
580, rue Booth
Ottawa, Ontario
K1A OE4

Gestion de l'énergie et participation des employés
Évaluation de la consommation
Analyse financière énergétique
Compatibilité de la gestion énergétique
Récupération de la chaleur perdue
Isolation thermique des équipements
Éclairage
Électricité
Moteurs électriques économiseurs d'énergie
Combustion
Appareillage de chaufferie
Fours, sécheurs et fours de cuisson
Systèmes à vapeur et à condensat
Chauffage et refroidissement énergétique (Vapeur et eau)
Conditionnement de l'air
Refroidissement et pompes à chaleur
Réseaux de distribution d'eau et d'air comprimé
Ventilateurs et pompes
Compresseurs et turbines
Mesures et contrôles
Régulation automatique
Manutention des matériaux et transport sur place
Point de vue architectural
Accumulation thermique

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1987

En vente au Canada par l'entremise des

Librairies associées
et autres libraires

ou par la poste auprès du

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue M91-6/18F au Canada: $5.50
ISBN 0-662-93340-0 à l'étranger: $6.60

Prix sujet à changement sans préavis

Tous droits réservés. On ne peut reproduire aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photographique) ni en faire un enregistrement sur support magnétique ou autre pour fins de dépistage ou après diffusion, sans autorisation écrite préalable des Services d'édition, Centre d'édition du gouvernement du Canada, Ottawa, Canada K1A 0S9.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
Objectif	1
Contenu	1
NOTIONS DE BASE	3
Exigences relatives au rendement d'un bâtiment	3
Enveloppe d'un bâtiment	3
Qualité de l'enveloppe du bâtiment	4
Influences extérieures	4
Gestion de l'énergie	4
Gain solaire	4
Énergie de chauffage	4
Réduction de l'énergie de chauffage	5
Énergie de refroidissement	5
Réduction de l'énergie de refroidissement	6
Nouveaux bâtiments	6
Analyse financière	6
Calculs des pertes et des gains de chaleur	6
Transmission thermique	6
Infiltration	7
Évaluation de l'énergie de chauffage	8
Évaluation de l'énergie de refroidissement	9
Identification des possibilités d'économie d'énergie	9
Analyse au passage	9
Analyse de diagnostic	10
Orientation	10
Murs	10
Murs de fondation	10
Fenêtres	10
Portes	11
Toits	11
Planchers	11
MATÉRIAUX ET ASSEMBLAGES	13
Murs	13
Murs en maçonnerie	13
Murs en blocs de béton isolés	15
Murs en béton préfabriqué	16
Panneaux métalliques isolés	17
Murs creux en brique	19

Murs de fondation 20

Toits 20
Toit multicouche 20
Toit renversé 22

Planchers 23

Fenêtres 23
Vitrage 24
Cadres 26
Dispositifs antisolaires 26

Portes 26

Rampes de chargement 27

POSSIBILITÉS DE GESTION DE L'ÉNERGIE 29

Possibilités de maintenance 29

Possibilités d'amélioration de coût modique 29

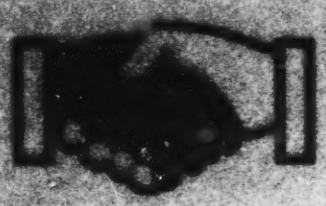
Exemples concrets d'amélioration de coût modique 30
1. Sceller les fenêtres et installer des coupe-froid 30
2. Calfeutrer les joints 30
3. Installer un joint de rampe 30

Possibilités de rénovation 30

Exemples concrets de possibilités de rénovation 31
Enlever le parement/Ajouter de l'isolant/Replacer le parement 31
Installer un parement métallique isolé sur un mur de brique 31
Isoler les panneaux vitrés 31
Ajouter de l'isolant dans les murs 31
Ajouter de l'isolant à la toiture 31

ANNEXES
A Glossaire
B Tables
C Conversions courantes
D Feuilles de travail
E Bibliographie

INTRODUCTION



Les bâtiments commerciaux, les installations industrielles et les immeubles de caractère public se présentent sous différentes formes et comprennent les usines, les petites installations de vente au détail, les grands centres commerciaux, les hôpitaux, les écoles et les édifices à bureaux. Les normes relatives aux dimensions, à la forme et à la conception de ces bâtiments varient selon l'application et le budget.

Les bâtiments protègent les biens et les occupants des précipitations et des températures extrêmes. L'intérieur est chauffé et quelquefois ventilé, exigeant ainsi de l'équipement spécial et des ouvertures pour l'air extérieur et l'air évacué. Une importante transmission thermique est alors entraînée par l'infiltration et l'exfiltration de l'air à travers et autour des ouvertures de l'enveloppe du bâtiment.

Le climat et la topographie varient sensiblement d'une région à l'autre du Canada. Tout projet d'architecture demande de l'imagination et une bonne planification à cause des différentes conditions naturelles et de la multitude d'applications des bâtiments. L'enveloppe doit être étudiée avec soin pour assurer une gestion prudente de l'énergie et réduire les coûts d'exploitation. Par conséquent, les possibilités d'économie d'énergie peuvent être très importantes et devraient être étudiées sérieusement.

Un grand nombre de bâtiments gaspillent de l'énergie. Ils ont souvent été conçus lorsque les coûts énergétiques étaient beaucoup moins élevés et l'utilisation de certains d'entre eux a été modifiée depuis leur conception. Ils étaient très peu isolés et, par conséquent gaspillaient de l'énergie; mais comme celle-ci était relativement peu coûteuse, elle n'affectait pas sensiblement les coûts d'exploitation. Les vieux bâtiments gaspillent donc probablement plus d'énergie que les nouveaux. Comme le coût de l'énergie est très élevé de nos jours et que les coûts d'exploitation peuvent devenir hors de prix, il faut modifier les méthodes de construction.

Le présent manuel n'est pas un manuel de technique de construction mais bien un manuel de référence pour les propriétaires et les opérateurs de bâtiments gaspillant de l'énergie. On y fournit des idées pour améliorer l'efficacité énergétique de l'enveloppe des bâtiments dans les secteurs industriel, commercial et public. En étudiant les exemples concrets, une personne sans formation particulière peut mettre en pratique des mesures qui amélioreront immédiatement le rendement énergétique de l'immeuble. Le propriétaire, l'opérateur ou le technicien en entretien peuvent faire beaucoup pour éliminer le gaspillage d'énergie.

Objectif

L'objectif du présent module se résume comme suit:

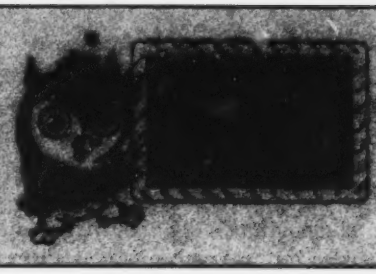
- Décrire brièvement le point de vue architectural dans les bâtiments commerciaux, les installations industrielles et les immeubles de caractère public.
- Susciter de l'intérêt pour les possibilités d'économie d'énergie et d'argent.
- Exposer des méthodes de calcul de possibilités d'économie d'énergie et d'argent
- Mettre à la disposition de l'usager un jeu de feuilles de travail qui peuvent servir de base de calcul pour les systèmes proposés et existants, et aider à déterminer les possibilités d'économie d'énergie et d'argent.

Contenu

Le présent module comprend les chapitres suivants:

- Le chapitre *Notions de base* décrit les principes de base du rendement de l'enveloppe du bâtiment. On y trouve également des possibilités d'amélioration de la gestion de l'énergie, des exemples concrets de calcul, ainsi que des observations sur certains coûts et avantages.
- Le chapitre *Matériaux et assemblages* décrit certaines caractéristiques de construction des murs, des toits, des portes, des fenêtres et des rampes de chargement, et donne des suggestions pour les améliorer.
- Le chapitre *Possibilités de gestion de l'énergie* présente une série de possibilités de gestion de l'énergie, exemples concrets à l'appui, et expose les calculs d'économies et de rentabilité des projets.
- Les *annexes* réunissent un glossaire, des tables, des tables de conversion et des feuilles de travail.

NOTIONS DE BASE



Le présent chapitre, traite des exigences énergétiques de l'*enveloppe* d'un bâtiment. On y retrouve également des suggestions pour déterminer les possibilités de gestion de l'énergie lors d'une analyse au passage ou d'une analyse de diagnostic, des exemples concrets de calcul et des calculs pour l'évaluation des économies.

Exigences relatives au rendement d'un bâtiment

L'enveloppe d'un bâtiment (murs, plancher et toit) isole les conditions extérieures variables des conditions ambiantes. Pour qu'un bâtiment donne un rendement satisfaisant, il faut contrôler les facteurs suivants:

- Flux thermique
- Mouvement de l'air
- Entrée de pluie et de neige
- Taux d'humidité
- Éclairage
- Énergie solaire

Enveloppe d'un bâtiment

Les matériaux qui entrent dans la composition de l'enveloppe d'un bâtiment influencent beaucoup la quantité d'énergie requise pour maintenir la qualité du milieu à l'intérieur. Un *mur-rideau*, constitué surtout de verre et de métal, est une source majeure de perte de chaleur en hiver et de gain de chaleur en été. Un mur porteur constitué de maçonnerie, d'isolant et de parement est beaucoup plus épais et par conséquent, plus isolé, quoique l'humidité puisse s'infiltrer et détériorer l'isolant.

La conductivité thermique varie en fonction des propriétés des matériaux et est comparée selon les facteurs U et RSI. La transmission de chaleur (facteur U) désigne l'aptitude d'un matériau à conduire l'énergie thermique. Par exemple, l'aluminium a un facteur U plus élevé que le bois et par conséquent, a une plus grande conductivité thermique. Le facteur RSI est le coefficient de résistance thermique correspondant (facteur RSI = 1/U). Un isolant rigide a un facteur RSI plus élevé que le verre et ainsi, une plus grande résistance thermique ou aptitude à isoler. Les facteurs U et RSI sont utilisés dans les calculs de pertes et de gains de chaleur. Se référer aux facteurs de résistance thermique de la table 1.

D'importantes pertes de chaleur proviennent du toit et des murs de l'enveloppe d'un bâtiment. Le plancher, qui est habituellement une construction à dalle ou multicouche installée au-dessus d'un sous-sol ou d'un vide sanitaire, présente moins de problème.

Le *toit* (panneaux en béton préfabriqué, tablier métallique) consiste habituellement en une couche d'isolant qui réduit la transmission de chaleur, une membrane étanche à l'eau qui empêche les infiltrations d'eau et une couche de gravier qui protège la membrane. Lorsqu'il s'agit d'un toit renversé, on applique d'abord la membrane étanche à l'eau puis l'isolant. On y ajoute alors du gravier pour que l'isolant demeure en place lorsqu'il y a des vents élevés et de la pluie. Lorsqu'on modernise une installation, la seule solution pratique est souvent d'installer de l'isolant sur la surface inférieure du toit.

Au-dessous du niveau du sol, la surface extérieure des *murs de fondation* (blocs de béton, béton coulé) est rendue hydrofuge par un enduit d'asphalte. L'isolant extérieur peut être rigide tandis que l'isolant intérieur se compose habituellement de matelas de fibre de verre.

On installe une membrane en polyéthylène hydrofuge sous le *plancher de béton* pour empêcher l'humidité du sol de s'infiltrer. Dans certains cas, la dalle peut être isolée autour du périmètre pour réduire les pertes de chaleur.

Qualité de l'enveloppe du bâtiment

L'enveloppe d'un bâtiment doit être bien construite et entretenue pour réduire la consommation énergétique et éviter d'endommager la structure. De nos jours, un grand nombre de bâtiments ne peuvent plus être utilisés selon leur vocation initiale à cause d'importantes détériorations.

Influences extérieures

Une *topographie et un aménagement paysager* appropriés améliorent le rendement de l'enveloppe du bâtiment. Des *bermes* de terre peuvent être utilisés pour protéger les bâtiments des vents dominants dans les parcs industriels. Les bermes aident à modifier la température immédiate à l'extérieur du bâtiment en agissant comme isolant. On obtient également de bons résultats avec les arbres et la végétation. Les arbres à feuillage caduque assurent de l'ombre pendant les chauds mois d'été et permettent l'utilisation de l'énergie solaire pour chauffer le bâtiment lorsqu'ils laissent tomber leurs feuilles en hiver.

L'installation de bermes près d'un bâtiment existant exige la construction d'un mur de soutènement armé, étanche à l'eau et isolé. Comme il s'agit d'un projet coûteux, on recommande de comparer la mise de fonds aux avantages éventuels pour en déterminer la rentabilité.

En conclusion, on doit tenir compte du type et de la qualité de l'enveloppe du bâtiment ainsi que des influences extérieures pour réduire les coûts de l'entretien et de l'énergie.

Gestion de l'énergie

La consommation énergétique d'un bâtiment est fonction directe des exigences en chauffage, en refroidissement, en éclairage et en ventilation. Le présent module traite surtout des exigences en chauffage et en refroidissement qui sont influencés par la composition de l'enveloppe du bâtiment. Les charges de chauffage et de refroidissement sont également influencées par l'emplacement du bâtiment, l'heure du jour et la saison.

Gain solaire

L'effet thermique des rayons du soleil est appelé chaleur solaire. Le *gain solaire* qu'accumule un espace est le résulat de cette chaleur solaire. Quoique ces gains soient faibles en hiver, ils aident à réduire l'énergie requise pour chauffer l'ensemble du bâtiment. En été, le gain solaire devient important et doit entrer dans les calculs pour déterminer les exigences en refroidissement.

Les facteurs clés qui déterminent le gain solaire réel sont l'orientation (nord, sud), l'heure du jour, la latitude et la structure du bâtiment. Se référer au module 10 intitulé «Conditionnement de l'air» pour obtenir plus de détails sur les gains solaires.

Énergie de chauffage

En hiver, l'enveloppe du bâtiment laisse échapper la chaleur par *transmission thermique* et par *infiltration et exfiltration* à travers les ouvertures du bâtiment. Il faut de l'énergie de chauffage pour compenser ces pertes. Souvent d'autres sources de chaleur sont disponibles pour réduire l'ensemble des exigences énergétiques de chauffage du bâtiment. Les gains de chaleur provenant des occupants, de l'éclairage et de l'équipement sont souvent importants.

La transmission thermique à travers l'enveloppe du bâtiment se produit de trois manières.

- Par *conduction*: soit le flux thermique à travers un matériau solide du côté plus chaud au côté plus froid de l'enveloppe. Elle survient à travers les murs, le toit/plafond et le plancher.
- Par *convection*: soit la transmission thermique entraînée par le mouvement de l'air chauffé d'une surface chaude à une surface froide. Elle survient autour des fenêtres et des portes.
- Par *rayonnement*: soit la transmission thermique par ondes électromagnétiques d'une surface chaude à une surface froide. Elle est transmise directement et n'est pas affectée par la température de l'air ambiant.

L'*infiltration* (air extérieur pénétrant à travers le bâtiment) et l'*exfiltration* (fuite d'air vers l'extérieur du bâtiment) surviennent lorsque les ouvertures des fenêtres et des portes sont mal scellées, aux joints de charpente ainsi qu'aux ouvertures des systèmes de ventilation et d'évacuation, et sont entraînées par la force qu'exerce le vent sur le bâtiment. Il y a exfiltration lorsque la pression intérieure du bâtiment est supérieure à la pression extérieure. La perte d'air par exfiltration à un endroit est remplacée par l'infiltration de l'air extérieur à un autre endroit, ou est compensée par le système d'air d'appoint mécanique.

La hauteur du bâtiment, les cages verticales des ascenseurs, les escaliers, les puits de gaine, le nombre de fenêtres et de portes ainsi que le parement extérieur influencent les pertes de chaleur. De plus, les imperfections de l'enveloppe dues à une mauvaise construction ou à la détérioration augmentent les pertes de chaleur.

Dans les édifices en hauteur, il y a infiltration et exfiltration d'air à cause de l'*effet de cheminée*. Les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur créent des différences de densité d'air qui, à leur tour, entraînent un différentiel de pression qui influence le taux d'infiltration. Pendant la saison de chauffage, l'air intérieur plus chaud monte et s'échappe à la section supérieure du bâtiment. L'air est remplacé par de l'air extérieur plus froid qui s'infiltre dans la section inférieure du bâtiment. Les directions d'écoulement sont inversées pendant la saison de refroidissement. Les taux d'infiltration et d'exfiltration sont moins importants l'été à cause des plus petites différences de température.

Réduction de l'énergie de chauffage

On peut réduire l'énergie de chauffage en empêchant les pertes de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment.

- Les *isolants* conservent l'énergie en réduisant la perte de chaleur en hiver. L'épaisseur de l'isolant nécessaire est fonction de la différence entre la température ambiante désirée et la température extérieure. Lorsqu'il y a grand différentiel de température, il est avantageux d'ajouter de l'isolant.
- Un *Coupe-vapeur* installé à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment empêche la *condensation* qui peut endommager sinon détruire l'intégrité du parement et de l'isolant. Lorsque l'isolant est mouillé, le facteur RSI du mur peut être réduit de plus de 50%.
- Du *vitrage double ou triple*, réduit les pertes de chaleur parce que le facteur RSI est augmenté. L'amélioration du facteur isolant entraîne une élévation de la température de la surface de la vitre à l'intérieur de la pièce et aide à réduire la condensation.
- Les *portes tournantes, les vestibules et les ferme-portes automatiques* réduisent les infiltrations et les exfiltrations en contrôlant le mouvement de l'air. Lorsqu'il est possible, les entrées devraient être protégées contre les vents dominants pour réduire ces pertes. Les ouvertures de portes et de fenêtres devraient être scellées avec un coupe-froid et les ouvertures indésirables, comme les fissures, calfeutrées.
- Une *réorganisation des activités* au sein du bâtiment peut réduire la consommation énergétique. Il est avantageux d'installer une aire de service comme un corridor, du côté nord du bâtiment et une aire d'activité comme les bureaux, du côté sud. Le côté nord peut demeurer frais et agir comme tampon pour le côte sud qui tire avantage de l'exposition au soleil. Il faut par conséquent diviser le bâtiment en deux zones en se basant sur des exigences en chauffage et en refroidissement spécifiques. Lorsque le bâtiment est climatisé, il faut bien s'assurer que les économies en chauffage ne sont pas contrebalancées par des coûts plus élevés de refroidissement. Les aires inoccupées ne devraient pas être chauffées ou refroidies plus que nécessaire pour la protection de l'enveloppe et de l'équipement.

Énergie de refroidissement

L'énergie de refroidissement compense les gains de chaleur. D'importants gains proviennent de la transmission thermique à travers l'enveloppe et des procédés internes (équipement, éclairage et pertes de chaleur par les occupants). Ces gains peuvent survenir tout au long de l'année. Pour obtenir de plus amples détails, se référer au module 2 intitulé «Éclairage» et au module 10 intitulé «Conditionnement de l'air».

La quantité d'énergie solaire captée par les surfaces verticales est fonction de l'orientation du bâtiment. Les murs orientés vers l'est et l'ouest reçoivent un maximum de rayonnement le matin et l'après-midi respectivement. Un mur orienté vers le sud reçoit un rayonnement maximal vers midi. Les murs orientés vers l'est et l'ouest captent une plus grande quantité de rayons que les murs orientés vers le sud puisque les rayons du soleil sont presque perpendiculaires à ces surfaces le matin ou l'après-midi et frappent les surfaces sud à angle à midi. Le vitrage entraîne des gains solaires excessifs si certaines mesures préventives ne sont pas prises. Cet effet augmente dans les sections de murs ayant un pourcentage élevé de verre. Le même problème surgit lorsque les toits sont plats et grands car ils peuvent devenir des collecteurs de chaleur importants l'été.

Le but de la gestion de l'énergie est d'économiser de l'argent en réduisant l'énergie de refroidissement tout en maintenant des conditions satisfaisantes pour l'équipement et le personnel.

Réduction de l'énergie de refroidissment

On peut réduire l'énergie de refroidissement d'un bâtiment en empêchant le rayonnement solaire d'atteindre et de pénétrer son enveloppe. Les techniques suivantes sont particulièrement efficaces pour les côtés ouest et est d'un bâtiment.

- Réduction du vitrage.
- Plantation d'arbres et de végétation pour assurer de l'ombre.
- Installation de rideaux et de stores à l'intérieur du bâtiment.
- Ajout de dispositifs antisolaires extérieurs tels que surplombs, persiennes à lames et auvents.
- Ajout d'isolants pour réduire la transmission thermique.
- Installation de pellicules réfléchissantes sur le vitrage pour réduire les gains solaires.

Il faudra peut-être augmenter l'éclairage artificiel à mesure que les fenêtres sont éliminées. L'éclairage assure de la chaleur supplémentaire en hiver mais doit être compensé par le conditionnement de l'air ou la ventilation l'été.

Nouveaux bâtiments

Les nouveaux bâtiments peuvent être orientés et conçus pour optimiser la consommation énergétique. On recommande l'utilisation de matériaux de construction à résistance thermique supérieure pour minimiser la transmission thermique et la construction d'un édifice à niveaux multiples plutôt qu'à un seul niveau de grande surface. Il faut planifier l'emplacement des fenêtres avec soin pour contrôler les pertes et les gains de chaleur et éviter d'orienter le vitrage vers l'est et l'ouest. On recommande l'installation de fenêtres doubles et scellées comme critère minimal pour la plupart des emplacements et l'installation de dispositifs antisolaires. Les occupants devraient être localisés loin des portes extérieures et les corridors placés le long des murs extérieurs frais l'hiver et chauds l'été.

Analyse financière

Toute amélioration apportée à un bâtiment existant entraîne une mise de fonds. Une fois les coûts déterminés, on peut évaluer la viabilité du projet en les comparant aux économies prévues et en calculant la période de rentabilité. Dans certains cas, les économies annuelles sont si importantes et la mise de fonds si minime que le projet doit indiscutablement être exécuté. Dans d'autres cas, il est bon d'effectuer une analyse détaillée pour justifier les dépenses.

Après avoir calculé la période de rentabilité, on peut suivre différentes méthodes pour analyser le projet à long terme et évaluer le programme de rénovation proposé. Se référer au module intitulé «Analyse financière» pour connaître les méthodes d'analyse de rentabilité des projets d'amélioration.

Calculs des pertes et des gains de chaleur

Le présent module expose plus particulièrement les calculs nécessaires pour évaluer une possibilité de gestion de l'énergie relative à l'enveloppe d'un bâtiment. Pour le calcul des pertes et des gains de chaleur à l'intérieur d'un bâtiment, se référer au module 10 intitulé «Conditionnement de l'air».

Transmission thermique

Des tables de *résistance thermique* sont disponibles pour la plupart des matériaux de construction (table 1) et servent à calculer la *transmission thermique* de chaque élément de construction. On peut alors effectuer des comparaisons et déterminer l'amélioration de la transmission thermique pour différentes modifications.

On calcule la perte de chaleur à travers un élément de construction (mur, toit, porte ou fenêtre) à l'aide de l'équation suivante:

$$Q = U \times A \times (T_2 - T_1)$$

où Q = taux de perte de chaleur (W)

U = 1/RSI = transmission thermique [$W/(m^2 \cdot °C)$]

A = surface (m^2)

T_2 = température intérieure (°C)

T_1 = température extérieure (°C)

Pour les murs et les fenêtres, la température intérieure est la température ambiante moyenne. Pour les plafonds, la température intérieure est la température moyenne au niveau du plafond. La température extérieure est la température nominale d'été ou d'hiver d'une ville tel que suggéré dans le Code national du bâtiment (table 2).

On peut ignorer la chaleur transmise à travers les murs et les planchers du sous-sol puisqu'elle est négligable.

Infiltration

Les pertes de chaleur par infiltration se divisent en deux grandes catégories: l'infiltration à travers les fissures et celles à travers les grandes ouvertures. Typiquement, les fissures sont de longues fentes étroites de moins de 10 mm de largeur. Dans les deux cas, on calcule le taux d'infiltration à l'aide de l'équation suivante:

$$Q = 1{,}232 \times fa \times (T_2 - T_1)$$

où Q = taux de perte de chaleur (W)

fa = débit de l'air infiltré (L/s)

T_2 = température intérieure (°C)

T_1 = température extérieure (°C)

1,232 = facteur de conversion

Le terme *fa* ne se calcule pas de la même façon pour les fissures et les grandes ouvertures. Les notes suivantes s'appliquent à l'équation générale.

- L'équation de la perte de chaleur est applicable aux infiltrations et aux exfiltrations.
- Lorsque T_1 est supérieure à T_2, Q devient négatif et représente un gain de chaleur.
- Le taux d'infiltration en hiver est environ le double du taux estival en raison de la vitesse supérieure des vents saisonniers.
- On doit tenir compte de l'infiltration entraînée par l'effet de cheminée dans les édifices de trente mètres et plus de hauteur. Ce type de calcul doit être effectué par un spécialiste.

Les pertes de chaleur entraînées par une infiltration à travers les fissures autour des portes et des fenêtres sont calculées selon la méthode de la surface ou la méthode des fissures.

Les taux d'infiltration selon la méthode des fissures, calculés par mètre de fissure (I), sont donnés à la table 3. On peut maintenant calculer fa, le taux global d'infiltration:

$$fa = I \times L$$

où fa = taux d'infiltration (L/s)

I = taux d'infiltration par mètre de fissure (L/s·m)

L = longueur de la fissure (m)

On peut consulter les tables de taux d'infiltration basées sur la surface dans les ASHRAE Handbooks et le Carrier System Design Manual. (Voir la bibliographie à l'annexe E.)

On calcule le taux d'infiltration entraînée par le vent soufflant à travers une grande ouverture de la manière suivante:

$$fa = E_o \times A \times V \times 1\,000$$

où fa = taux d'infiltration (L/s)

E_o = efficacité de l'ouverture exprimée par un facteur empirique sans unité (maximum de 0,60 pour les vents perpendiculaires et minimum de 0,25 pour les vents diagonaux). Utiliser la valeur moyenne de 0,40 dans les exemples concrets.

A = surface de l'ouverture (m^2)

V = vitesse moyenne du vent saisonnier (m/s) (que l'on peut obtenir à la station météorologique locale), divisée par 2. La vitesse est divisée par deux pour tenir compte de l'effet réel du vent sur l'infiltration. On peut utiliser la valeur 1,7 m/s lorsque la vitesse est inconnue.

L'équation devient ainsi:

$$fa = 0{,}40 \times A \times 1{,}7 \times 1\,000$$

$$= 680 \times A$$

On doit tenir compte de la période durant laquelle une porte ou une grande surface est ouverte lorsque l'on calcule les pertes énergétiques annuelles. La «fraction du temps d'exploitation» est:

$$OT = t/168$$

où OT = fraction du temps d'exploitation exprimée en décimale

168 = nombre total d'heures par semaine

t = période durant laquelle la porte ou la surface est ouverte par semaine (h)

Évaluation de l'énergie de chauffage

Pour évaluer les exigences totales en énergie de chauffage ainsi que les coûts s'y rattachant, il faut effectuer plusieurs calculs. De façon simplifiée:

POUR LE CHAUFFAGE AU GAZ NATUREL

$$AG = \frac{2{,}95 \times Cf \times Q \times DDh}{(T_2 - T_1)}$$

où AG = coût annuel prévu du gaz ($)

Cf = coût unitaire du combustible (gas, $/m^3$)

Q = perte de chaleur (kW)

DDh = degré-jour sous 18°C

T_2 = température intérieure moyenne (°C)

T_1 = température extérieure nominale (°C)

2,95 = facteur de conversion

POUR LE CHAUFFAGE AU MAZOUT

$$AO = \frac{2{,}73 \times Cf \times Q \times DDh}{(T_2 - T_1)}$$

où AO = coût annuel prévu du mazout ($)

Cf = coût du combustible (mazout, $/L)

2,73 = facteur de conversion

POUR LE CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE

$$AE = \frac{16{,}8 \times Ce \times Q \times DDh}{(T_2 - T_1)}$$

ou AE = coût annuel prévu de l'électricité ($)

Ce = coût de l'électricité ($/kWh)

16,8 = facteur de conversion

Évaluation de l'énergie de refroidissement

Lorsqu'on apporte des améliorations pour réduire l'énergie de chauffage, cela entraîne habituellement une réduction de l'énergie de refroidissement. Il faut qu'un spécialiste effectue des calculs détaillés pour évaluer les gains solaires de l'été et de l'hiver.

Une possibilité d'économie d'énergie devient plus attrayante lorsque l'énergie économisée en réduisant le refroidissement mécanique est ajoutée aux économies de chauffage.

Identification des possibilités d'économie d'énergie

Il faut bien comprendre les conditions existantes du bâtiment avant de pouvoir identifier les possibilités d'économie d'énergie. Voilà pourquoi une analyse au passage et une analyse de diagnostic sont essentielles. La première analyse consiste en une inspection visuelle des installations tandis que la seconde est une recherche analytique comprenant une accumulation de données et des calculs mathématiques pour déterminer les réductions possibles d'énergie. Il est aussi très avantageux d'obtenir l'aide des employés pour qu'ils puissent donner leur opinion sur l'exploitation du bâtiment et proposer des mesures pour économiser de l'énergie.

Analyse au passage

Lors d'une *analyse au passage*, on peut identifier des problèmes tels que portes et fenêtres mal scellées, matériaux détériorés ou en cours de détérioration, éléments de construction de mauvaise qualité, absence d'isolant et besoins de réparation. Cette analyse est plus fructueuse si elle est effectuée par une tierce partie spécialiste en gestion de l'énergie.

Un grand nombre de possibilités d'économie d'énergie identifiées lors d'une analyse au passage peuvent être implantées sur le champ et à un prix modique pour améliorer le bâtiment. Elles ne nécessitent aucun ouvrage de spécialiste et peuvent être mises en oeuvre par le personnel d'entretien et d'exploitation.

- Les *murs* jouent un rôle important dans la transmission thermique et l'infiltration de l'air. Quoiqu'il soit impossible de déterminer la composition exacte d'un mur lors d'une analyse au passage, les dommages les plus visibles surviennent sur les finitions intérieure et extérieure. Toute détérioration doit être réparée car elle est une source de perte de chaleur.
- Les *murs de fondation* en maçonnerie ou en béton coulé sont une source moins importante de perte de chaleur que les murs des étages supérieurs. Dans les sous-sol ou les vides sanitaires, les murs périmétriques peuvent être isolés sur leur surface extérieure avec un isolant rigide ou sur leur surface intérieure avec un matelas isolant. Tout isolant humide ou endommagé doit être remplacé.
- Le *toit* est une source importante de perte de chaleur en hiver et de gain de chaleur en été. La fonte de la neige sur certaines parties du toit signale des pertes de chaleur excessives. D'autre part, on peut identifier un gain de chaleur excessif lorsque du bitume fondu s'introduit dans le toit et s'infiltre à l'intérieur du bâtiment par le tablier de bois.
- Il est bon de vérifier l'état de l'isolant d'un *plancher* suspendu au-dessus d'un vide sanitaire non chauffé. Il n'est pas nécessaire d'isoler les planchers construits au-dessus de sous-sol occupés.
- Les *cadres de fenêtres et de portes* sont construits en bois, en acier ou en aluminium. Ceux en bois isolent bien mais rétrécissent et gonflent selon le taux d'humidité et nécessitent beaucoup d'entretien. Les cadres métalliques ne se déforment pas mais isolent mal. Le calfeutrage réduit l'infiltration entre le cadre et la porte ou la fenêtre. La fréquence d'*ouverture* influence de manière importante la consommation énergétique.

- Un *vestibule* est un espace fermé entre la porte extérieure et l'intérieur du bâtiment. Il a pour but d'empêcher l'air de passer directement de l'extérieur à l'intérieur et vice-versa. Lorsque un vestibule comprend un système de circulation d'air autonome, il modifie la température de l'air d'entrée et agit comme un tampon de pression entre l'extérieur et l'intérieur. On recommande un vestibule dans toutes les entrées et sorties d'un bâtiment, tout particulièrement lorsque les ouvertures sont orientées vers des vents dominants. On doit vérifier les vestibules pour s'assurer de l'état du coupe-froid et du fonctionnement approprié des portes et des ferme-portes.
- Les *rampes de chargement* sans protection contre les intempéries peuvent devenir une source d'infiltration excessive d'air et de perte de chaleur. On peut réduire les coûts énergétiques en installant un coupe-froid autour d'une porte basculante et en installant un joint coussiné ou un abri de rampe. Se référer au module 17 intitulé «Manutention des matériaux et transport sur place» pour de plus amples détails.

Analyse de diagnostic

Une *analyse de diagnostic* est une analyse détaillée de l'enveloppe du bâtiment en vue d'évaluer la perte de chaleur. Les plans et devis du bâtiment sont de bonnes sources de renseignements. Il est préférable d'utiliser des plans définitifs puisqu'ils indiquent l'assemblage final du bâtiment une fois la construction terminée. Si ces plans ne sont pas disponibles, on peut devoir effectuer des *coupes d'essai* à travers le mur et le toit pour en déterminer la composition.

La *thermographie* est une autre méthode servant à analyser l'état de l'enveloppe d'un bâtiment. Des spécialistes photographient des surfaces à l'infrarouge pour déceler la transmission excessive de chaleur à travers les murs et les toits. Quoiqu'on puisse reconnaître les problèmes, les éléments entrant dans la composition de l'enveloppe ne peuvent être identifiés.

Orientation

Les effets extérieurs qui influencent un bâtiment, comme le vent et le soleil, sont fonction directe de l'orientation du bâtiment. On doit faire appel à un spécialiste pour l'évaluation de ces facteurs.

Murs

Déterminer la composition exacte du mur à partir des plans tels que construits ou en effectuant des coupes d'essai à travers celui-ci. On peut alors calculer les effets de la construction existante sur la consommation énergétique en suivant les exemples dans le présent module et en remplissant les feuilles de travail.

- Calculer la résistance thermique (facteur RSI) du mur à l'aide du taux de flux thermique des matériaux (table 1).
- Déterminer le gradient de température à travers la structure. La variation de température à travers chaque composant est proportionnelle au facteur RSI de ce dernier. La différence de température totale entre l'intérieur et l'extérieur est proportionnelle au facteur RSI total de l'assemblage. Les figures de la section Matériaux et assemblages montrent les gradients de température pour un certain nombre d'assemblages de construction.
- Déterminer le gradient de température pour identifier la valeur du *point de rosée*, soit la température à laquelle se forme la condensation.
- Déterminer les pertes et gains de chaleur de l'enveloppe du bâtiment.
- Calculer les économies en argent en suivant les exemples relatifs aux différentes améliorations proposées.

Murs de fondation

Si les murs du sous-sol sont finis, il peut être impossible de déterminer à l'oeil s'ils sont isolés. La présence d'isolant peut être vérifiée en démolissant une petite surface de mur intérieur. On peut effectuer et répéter certains calculs de perte de chaleur pour déterminer différentes possibilités d'amélioration.

Fenêtres

Après avoir calculé la perte d'énergie provenant des fenêtres existantes, on peut déterminer les items suivants:

- Besoin de remplacer les vitres ou les fenêtres existantes
- Type de vitre ou de fenêtre à recommander
- Besoin de dispositifs antisolaires internes et externes
- Besoin de coupe-froid ou de contre-châssis

Portes

On doit calculer l'infiltration de l'air autour des portes pour évaluer une possibilité d'économie. Après avoir effectué ces calculs, on peut tenir compte des mesures suivantes pour réduire la perte énergétique:

- Installation de contre-portes
- Remplacement ou ajout de coupe-froid
- Dans les endroits très achalandés, remplacement des portes d'entrée battantes par des portes tournantes
- Installation d'un vestibule ou d'un joint de rampe

Toit

Il faut tenir compte de la perte de chaleur, du gain solaire et des fuites d'eau d'un toit. L'air chaud qui monte augmente le différentiel de température entre l'intérieur et l'extérieur et entraîne des pertes de chaleur importantes. Les gains solaires par rayonnement peuvent être importants, tout particulièrement lorsque le toit est plat et de grande surface. Les infiltrations d'eau entraînées par une mauvaise étanchéité ou des matériaux de construction endommagés réduisent la résistance thermique de l'isolant. Plusieurs mesures peuvent être prises pour évaluer un toit.

- Demander à un couvreur de déterminer la composition du toit en effectuant des coupes d'essai si les plans tels que construits ne sont pas disponibles.
- Déterminer le facteur de résistance thermique du toit
- Calculer les pertes et les gains de chaleur

Planchers

Comme la transmission thermique à travers les dalles sur sol est minimale, il n'est pas nécessaire d'effectuer une analyse détaillée.

Ce chapitre décrit les matériaux de construction couramment utilisés dans la réalisation des assemblages de l'enveloppe d'un bâtiment.

Murs

Les composants suivants sont utilisés dans la construction des murs extérieurs.

- Une *finition intérieure* (placoplâtre, latte métallique, plâtre) est choisie en fonction de son utilité et son apparence.
- Un *coupe-vapeur* (pellicule en polyéthylène ou feuille d'aluminium) contrôle le débit de vapeur. Il empêche ainsi l'humidité intérieure de s'infiltrer dans le mur où elle peut se condenser et réduire l'efficacité de l'isolant. Le coupe-vapeur doit être installé sur le côté chaud de l'isolant pour empêcher toute condensation.
- Un *isolant* (panneaux en polystyrène ou matelas de fibre de verre) contrôle le flux thermique et joue un rôle important dans la résistance thermique du mur car il réduit la perte de chaleur l'hiver, et le gain de chaleur l'été.
- Les *matériaux de remplissage de la charpente* (bloc de béton, montants) soutiennent l'isolant, maintiennent le coupe-vapeur en place, absorbent et transmettent la charge de vent à l'ossature et quelquefois soutiennent le parement.
- Un *coupe-vent* (mélange bitumineux, panneau de revêtement et papier de construction) contrôle le mouvement de l'air à travers l'enveloppe.
- Un *espace d'air ventilé* permet la dissipation de la vapeur d'eau indésirable et doit être placé sur le côté froid du mur.
- Le *parement* (parement de brique, parement métallique, panneaux de béton préfabriqués) protège de l'eau et constitue la finition extérieure du bâtiment.

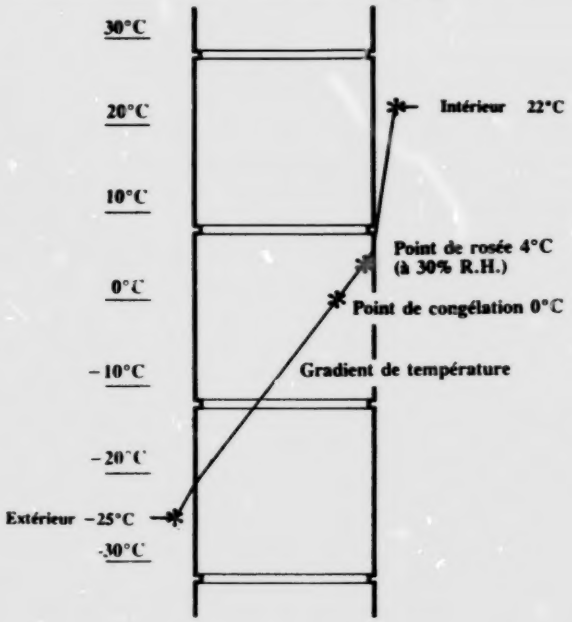
Les murs d'un grand nombre d'installations industrielles et de petits bâtiments à usage multiple consistent en une seule épaisseur de blocs de béton ou de panneaux préfabriqués. Quoique la cavité de certains murs en maçonnerie puisse recevoir de l'isolant, la résistance thermique globale est assez faible. Les *pellicules d'air* sur les surfaces intérieures et extérieures du bâtiment agissent comme une mince couche isolante en raison de la friction entre l'air et la surface du mur qui restreint le mouvement de l'air. La finition intérieure d'un bureau assure une résistance thermique additionnelle et une étanchéité à l'air.

On peut améliorer la structure des murs en installant un isolant et un coupe-vapeur sur la paroi intérieure ou extérieure du bâtiment. On augmente ainsi la résistance thermique de l'assemblage, on réduit le passage de l'air de l'intérieur vers l'extérieur ou vice versa, ainsi que le pont thermique et on empêche la condensation de se former. La meilleure méthode est l'ajout d'un isolant sur la paroi extérieure déjà existante de l'assemblage puisque les points de rosée et de congélation sont poussés à l'extérieur du nouveau coupe-vapeur, au-delà de la charpente du mur. On peut observer cet effet dans les gradients de température des figures suivantes.

Murs en maçonnerie

Construction – Bloc de béton de 200 mm d'épaisseur, non isolé, coupe-vapeur inefficace (figure 1). Pour les conditions choisies, il y a condensation et gel à l'intérieur du mur. Cela peut engendrer une détérioration rapide du mur (efflorescence et décomposition du mortier).

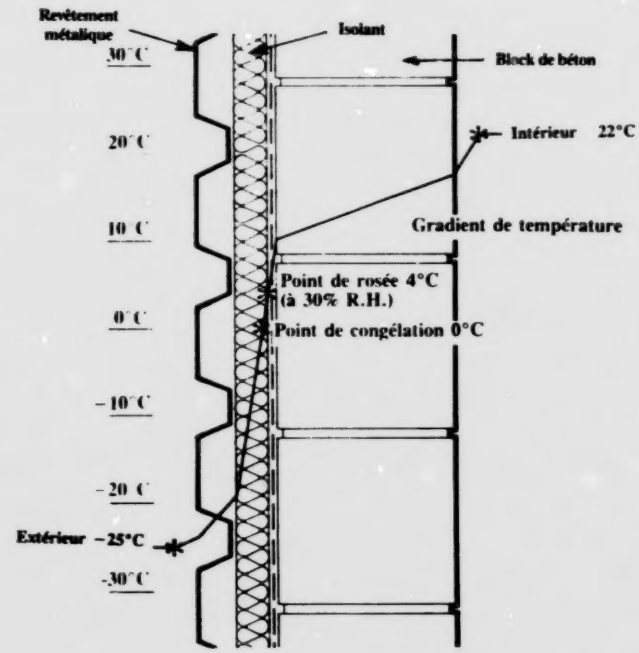
Amélioration – Ajouter de l'isolant, un coupe-vapeur et une nouvelle paroi sur la surface extérieure du mur en maçonnerie (figure 2). Le point de rosée est alors déplacé à l'extérieur du nouveau coupe-vapeur et empêche la condensation dans le mur.



	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0,120
Bloc de béton de 200 mm	0,195
Pellicule d'air extérieure	0,030
RSI =	0,345

$$U = \frac{1}{RSI} = \frac{1}{0,345} = 2,90$$

Mur en bloc de béton
Figure 1



	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0,120
Bloc de béton de 200 mm	0,195
Coupe-vapeur	Négl.
Isolant en fibre de verre 38 mm	0,790
Parement métallique	0,123
Pellicule d'air extérieure	0,030
RSI =	1,258

$$U = \frac{1}{1,258} = 0,79$$

Mur en bloc de béton
(Amélioration)
Figure 2

Il s'agit d'une méthode idéale lorsque le mur existant est endommagé ou érodé. Le mur en maçonnerie sert à soutenir un assemblage de profilés de fourrure, d'agrafes ou d'isolant rigide de la bonne épaissseur à l'aide de fixations. Lorsqu'on installe un coupe-vapeur, on doit fixer un coupe-vapeur de type auto-adhésif ou une pellicule en aluminium ou en polyéthylène sur toute la paroi. La paroi extérieure est souvent recouverte de métal ondulé préfini et quelquefois d'amiante préfini, de panneaux métalliques plats, panneaux de fibre de verre ou de bois.

Avantages – Cela peut améliorer l'apparence du bâtiment. De plus, l'ajout d'un isolant et d'un coupe-vapeur maintient la charpente à une température ambiante relativement constante. Grâce à cette caractéristique, la dilatation et la contraction entre les murs et le toit diminuent, ce qui minimise la contrainte thermique dans la charpente tout en réduisant les pertes et les gains de chaleur.

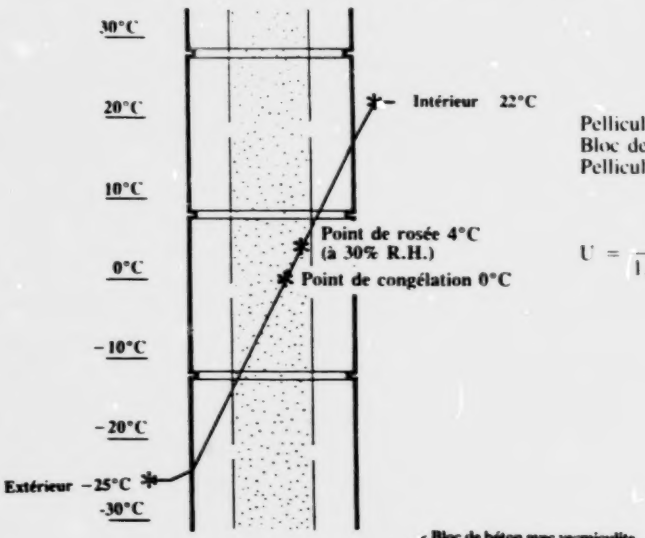
Murs en blocs de béton isolés

Construction – Bloc de béton de 200 mm d'épaisseur rempli de vermiculite (figure 3). Il y a condensation et gel dans l'isolant de la cavité du mur provoquant la décomposition de ce dernier.

Amélioration – Installer de l'isolant, un coupe-vapeur et une construction à mur sec sur la surface intérieure (figure 4). Le gradient de température de la figure montre que les points de rosée et de congélation se rapprochent de la surface extérieure de l'isolant.

Dans cette application, il faut s'assurer de la continuité du coupe-vapeur sur la paroi intérieure de l'isolant. On peut appliquer une *fourrure* directement sur la surface intérieure des murs en maçonnerie de la charpente, même si des ponts thermiques surviennent en raison du contact direct du mur froid avec la nouvelle surface intérieure du mur. Les fourrures sont très bien supportées et peuvent donc être de petites dimensions. Des éléments plus épais peuvent créer un espace d'air clos qui augmente le facteur d'isolation. Une vaste gamme de matériaux isolants sont disponibles pour ce type d'application.

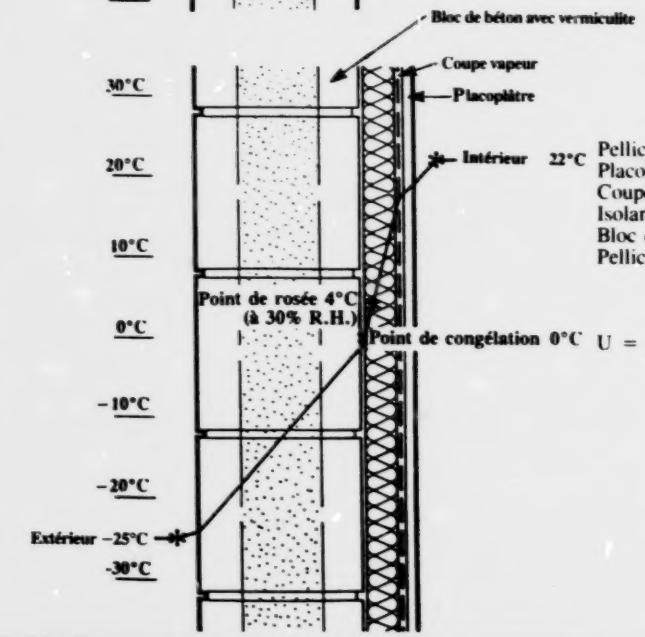
On utilise quelquefois des colombages pour construire un nouveau mur intérieur. L'isolant doit remplir tous les espaces entre les poteaux pour éliminer les vides et la circulation d'air à travers le mur. Quoique cette mesure assure une séparation du mur en maçonnerie, elle est coûteuse tout particulièrement lorsqu'il s'agit de murs très hauts.



	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0.120
Bloc de béton de 200 mm – avec vermiculite	1.000
Pellicule d'air extérieure	0.030
RSI =	1.150

$$U = \frac{1}{1.150} = 0.87$$

Mur en bloc de béton isolé
Figure 3



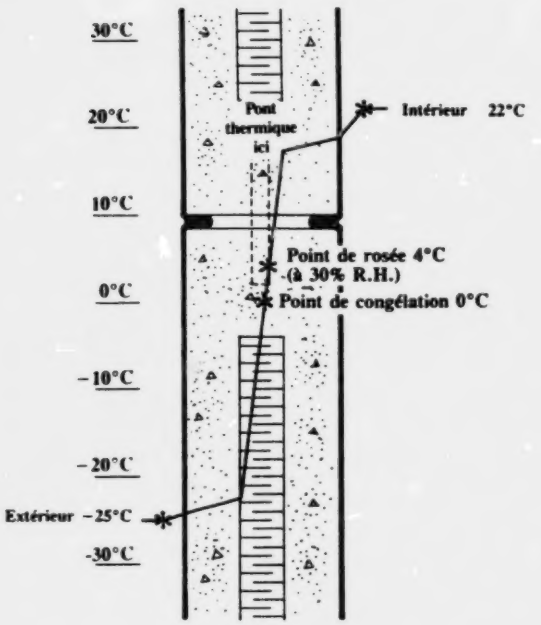
	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0.120
Placoplâtre de 12 mm	0.074
Coupe-vapeur	Négl.
Isolant en fibre de verre de 38 mm	0.790
Bloc de béton de 200 mm – avec vermiculite	1.000
Pellicule d'air extérieure 0.030	
RSI =	2.014

$$U = \frac{1}{2.014} = 0.50$$

Mur en bloc de béton isolé
(Amélioration)
Figure 4

Murs en béton préfabriqué

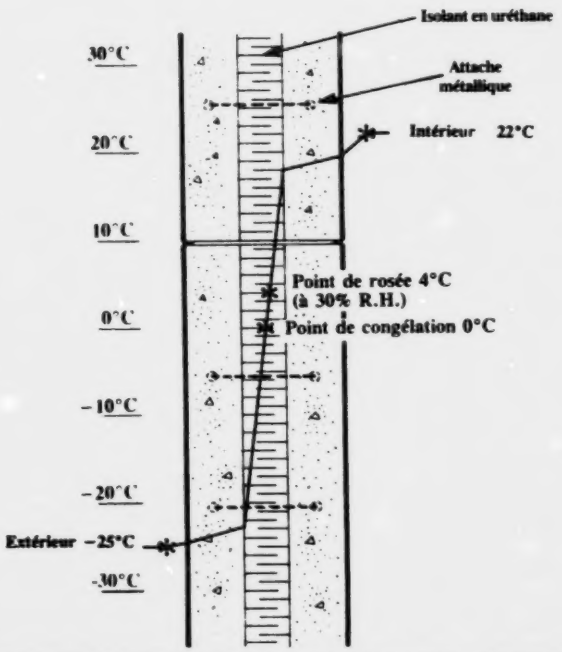
Construction – Panneaux préfabriqués à paroi unique. La cavité de certains panneaux peut être remplie d'isolant alors que les murs plus vieux peuvent être remplis de béton, créant ainsi un pont thermique (figure 5). La charpente des nouveaux bâtiments est souvent composée de petites traverses métalliques qui minimisent cet échange thermique (figure 6). Il peut y avoir condensation et gel dans les panneaux si le coupe-vapeur est endommagé.



	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0,120
Béton préfabriqué de 62 mm	0,059
Isolant en uréthane de 50 mm	1,541
Béton préfabriqué de 62 mm	0,059
Pellicule d'air extérieure	0,030
RSI =	1,809

$$U = \frac{1}{1,809} = 0,55$$

Mur en béton préfabriqué
(Avec pont thermique)
Figure 5

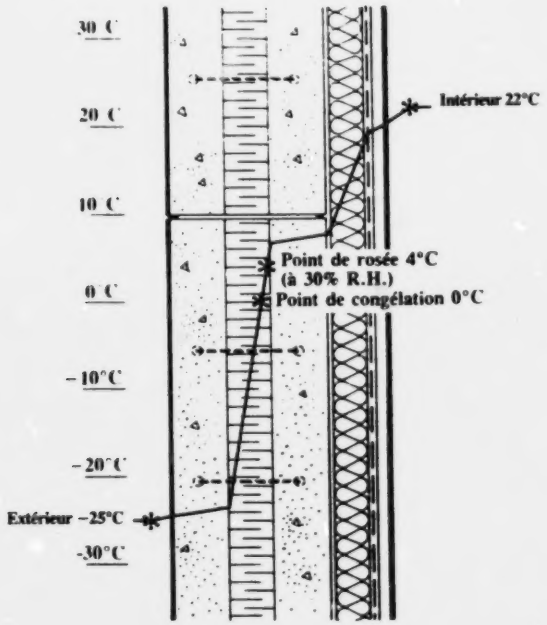


	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0,120
Béton préfabriqué de 62 mm	0,081
Isolant en uréthane de 50 mm	2,100
Béton préfabriqué de 62 mm	0,081
Pellicule d'air extérieure	0,030
RSI =	2,412

$$U = \frac{1}{2,412} = 0,41$$

Mur en béton préfabriqué
Figure 6

Amélioration – Lorsque la surface extérieure est intacte, on peut modifier la surface intérieure (figure 7). Un isolant rigide est fixé à la surface intérieure des panneaux préfabriqués, puis on y colle des panneaux de placoplâtre munis d'un coupe-vapeur. Il importe de bien sceller tous les joints de cette membrane pour éviter que la vapeur d'eau ne se déplace vers l'extérieur pour rester emprisonnée dans le mur. On peut réduire cette infiltration de vapeur en appliquant une bonne couche de peinture sur la surface intérieure.



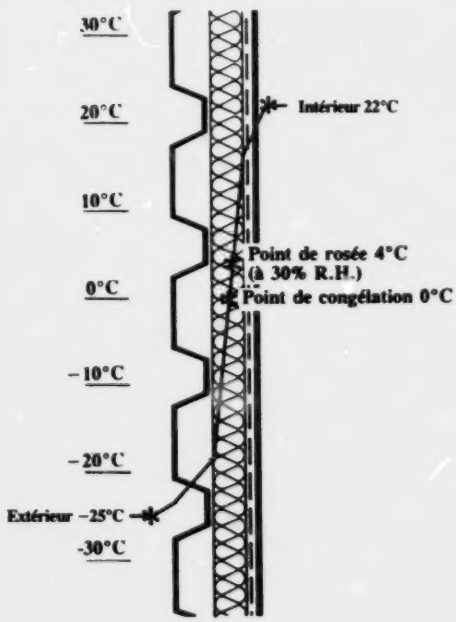
	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0,120
Placoplâtre de 12 mm	0,074
Coupe-vapeur	Négl.
Isolant en fibre de verre de 38 mm	0,790
Béton préfabriqué de 62 mm	0,081
Iolant en uréthane de 50 mm	2,100
Béton préfabriqué de 62 mm	0,081
Pellicule d'air extérieure	0,030
RSI =	3,276

$$U = \frac{1}{3,276} = 0,31$$

Mur en béton préfabriqué
(Amélioration)
Figure 7

Panneaux de façade métalliques isolés

Construction – Parement métallique extérieur, cavité remplie d'isolant et revêtement intérieur métallique (figure 8). Le parement extérieur protège l'isolant de la pluie et le revêtement métallique intérieur agit comme coupe-vapeur. Le gradient de température démontre l'importance d'un coupe-vapeur continu.



	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0,120
Coupe-vapeur de revêtement intérieur métallique	Négl.
Isolant en fibre de verre de 38 mm	0,790
Parement métallique	0,123
Pellicule d'air extérieure	0,030
RSI =	1,063

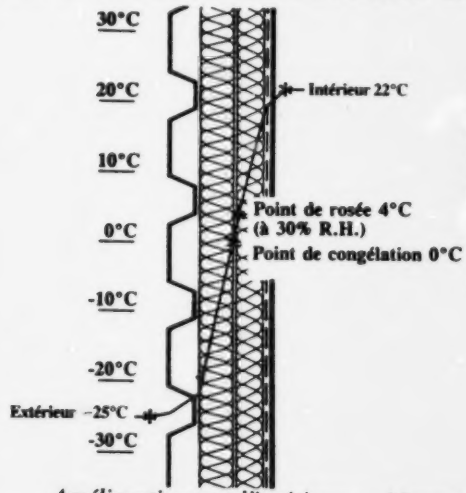
$$U = \frac{1}{1,063} = 0,94$$

Panneau de façade métallique isolé
Figure 8

Amélioration de l'extérieur – Augmentation de l'épaisseur de l'isolant (figure 9). Il faut enlever la paroi existante et ajouter des agrafes d'allonge ou des profilés. On remet le parement en place une fois l'isolant installé. On peut devoir installer de nouveaux solins et raccords.

Avantages – On augmente la résistance thermique sans interrompre l'activité des occupants. De plus, comme on utilise les matériaux de parement existants, la main-d'oeuvre devient le seul coût important.

Désavantages – Le calorifugeage n'est assuré que par le coupe-vapeur existant composé d'une feuille de revêtement métallique intérieur et d'un produit d'étanchéité au chevauchement des joints. Il se peut que le coupe-vapeur n'ait pas été continu et que les joints se soient ouverts en raison de la pression et du mouvement de l'air dans la paroi du bâtiment. Il faut bien calfeutrer de nouveau les joints.



	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0,120
Coupe-vapeur de revêtement intérieur métallique	Négl.
Isolant en fibre de verre de 38 mm	0,790
Isolant en fibre de verre de 50 mm	1,040
Parement métallique	0,123
Pellicule d'air extérieure	0,030
RSI =	2,103

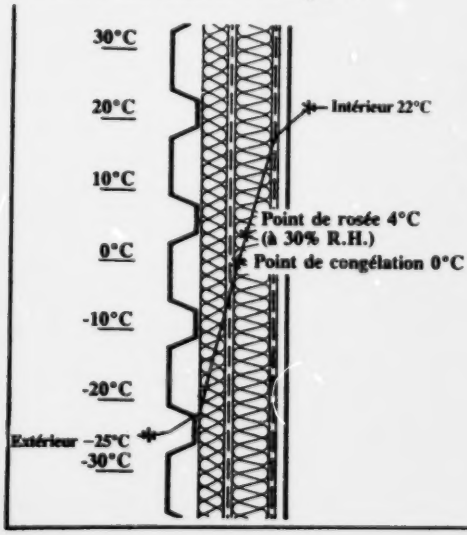
$$U = \frac{1}{2,103} = 0,48$$

Mur de façade métallique isolé
(Amélioration par l'extérieur)
Figure 9

Amélioration par l'intérieur – Ajouter de l'isolant et une construction à mur sec à l'intérieur du mur existant (figure 10). Il faut installer des fourrures lorsque l'isolant est en fibre minérale. D'autre part, on peut coller directement de l'isolant rigide sur le revêtement métallique. Il faut un coupe-vapeur à l'intérieur du nouvel isolant et recouvrir celui-ci d'une finition intérieure comme du placoplâtre, du bois ou du contreplaqué. Comme les isolants rigides sont très inflammables, ils doivent être couverts de placoplâtre pour fins de sécurité et répondre aux exigences du Code national du bâtiment.

Avantages – On peut installer le nouvel isolant de l'intérieur, sans tenir compte de la saison ou du temps et sans déranger l'assemblage mural. Une vaste gamme de matériaux isolants sont disponibles et l'installation d'une nouvelle finition intérieure offre un avantage additionnel.

Désavantages – Le nouveau coupe-vapeur est très important puisque toute vapeur qui s'infiltre demeure emprisonnée dans le mur. Il faut prendre soin de ne pas l'endommager lorsqu'on installe des réseaux électriques ou autres services. Les éléments de charpente en acier existants et le câblage électrique présentent des problèmes lorsqu'on installe une nouvelle charpente.



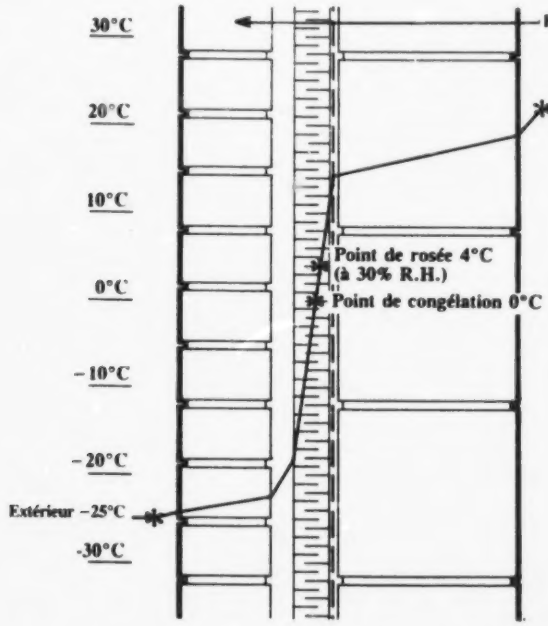
	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0,120
Placoplâtre de 12 mm	0,074
Coupe-vapeur	Négl.
Isolant en fibre de verre de 50 mm	1,040
Revêtement intérieur métallique/coupe-vapeur	Négl.
Isolant en fibre de verre de 38 mm	0,790
Parement métallique	0,123
Pellicule d'air extérieure	0,030
RSI =	2,177

$$U = \frac{1}{2,177} = 0,46$$

Panneau de façade métallique isolé
(Amélioration par l'intérieur)
Figure 10

Murs creux en brique

Construction – Bloc de béton à cavité et parement de brique, possibilité d'isolant entre les deux (figure 11). S'il n'y a pas de coupe-vapeur ou que celui-ci n'est pas continu, l'humidité se condense et gèle dans la cavité.

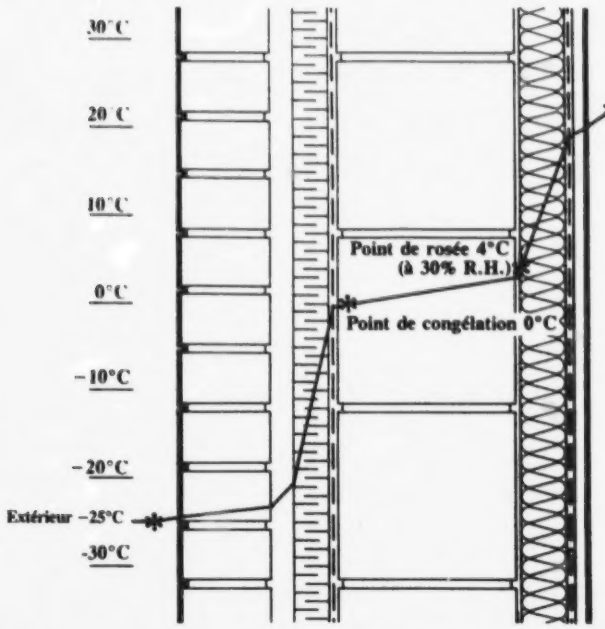


	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0,120
Bloc de béton de 200 mm	0,195
Coupe-vapeur	Négl.
Isolant en polystyrène de 38 mm	1,320
Espace d'air de 25 mm	0,171
Parement en brique de 100 mm	0,074
Pellicule d'air extérieure	0,030
RSI =	1,910

$$U = \frac{1}{1,190} = 0,52$$

Mur creux en brique
Figure 11

Amélioration – À cause du parement de brique, on ne peut améliorer que par l'intérieur (figure 12). Il faut ajouter des matelas isolants entre la fourrure ou coller des panneaux isolants rigides à la surface des blocs de béton. On installe ensuite un nouveau coupe-vapeur continu puis du placoplâtre ou autre revêtement intérieur.



	Facteur RSI
Pellicule d'air intérieure	0,120
Placoplâtre de 12 mm	0,074
Coupe-vapeur	Négl.
Isolant en fibre de verre de 50 mm	1,040
Bloc de béton de 200 mm	0,195
Coupe-vapeur	Négl.
Isolant en polystyrène de 38 mm	1,320
Espace d'air de 25 mm	0,171
Parement de brique de 100 mm	0,074
Pellicule d'air extérieure	0,030
RSI =	3,024

$$U = \frac{1}{3,024} = 0,33$$

Mur creux en brique
(Amélioration)
Figure 12

Avantage – L'installation peut s'effectuer en tout temps.

Désavantages – L'installation d'un isolant supplémentaire peut changer l'emplacement du point de rosée dans le mur et causer de sérieux dommages si le coupe-vapeur n'est pas installé de manière appropriée. De plus, la nouvelle finition intérieure peut être moins durable que le bloc de béton existant.

Murs de fondation

On peut ajouter un isolant à la surface extérieure ou intérieure des murs de fondation, tel que décrit dans la section traitant des murs de charpente. On peut facilement améliorer la construction d'un mur de sous-sol en ajoutant des fourrures et des matelas isolants (figure 4). Le coupe-vapeur est très important. Si l'on a accès au vide sanitaire, il peut être également isolé de cette façon. S'il n'est pas accessible, on peut installer un isolant rigide sur la surface extérieure des murs de fondation. On doit faire appel à un spécialiste qui connait les températures hivernales et les profondeurs de gel pour qu'il puisse déterminer l'épaisseur de l'isolant au-dessus du niveau du sol. Une mauvaise installation peut entraîner des dommages par le gel.

Toits

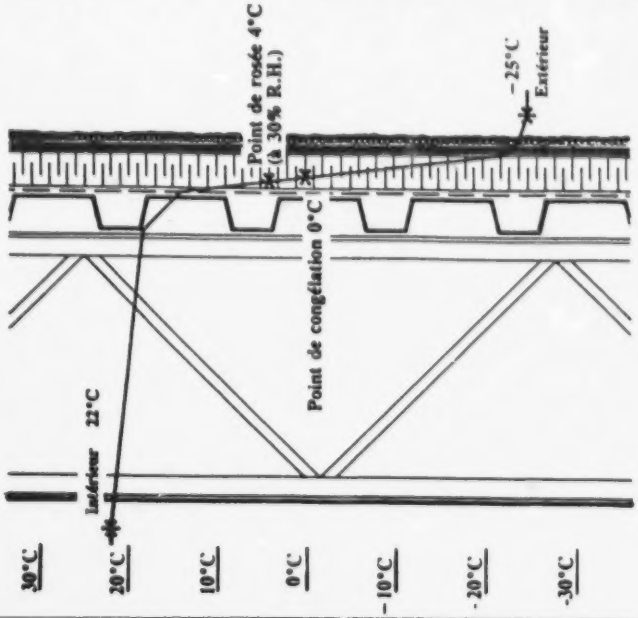
Les composants suivants sont utilisés dans la construction des assemblages de toit.

- Une *membrane étanche à l'eau* (asphalte avec couverture de gravier, néoprène à couche unique) empêche l'eau de s'infiltrer.
- Un *isolant rigide* (uréthane, polystyrène, fibre de verre) contrôle la transmission thermique.
- Un *coupe-vapeur* (feutre saturé d'asphalte) installé sur le côté inférieur de l'isolant remplit la même fonction que celle décrite dans la section traitant des murs.
- Un *tablier de toit de charpente* (coffrage métallique, béton, tablier en bois fabriqué en usine) assure un soutien continu à la membrane hydrofuge, à l'isolant et au coupe-vapeur.
- Les *principaux éléments de charpente* (fermes métalliques, poutres de béton ou de bois) soutiennent le tablier du toit et les charges suspendues.
- Un *plafond* (placoplâtre, lattes et enduit, barres en T et tuiles acoustiques) est fixé sur le côté inférieur de la charpente pour l'acoustique et la finition.

Les améliorations apportées à la surface extérieure du toit sont habituellement les plus pratiques. Les désavantages qu'offre une amélioration par l'intérieur comprennent l'interruption du travail des occupants et des procédés, ainsi qu'une mauvaise étanchéité du coupe-vapeur en raison des éléments de charpente et des services (eau, électricité) du bâtiment.

Toit multicouche

Construction – Un coupe-vapeur est installé sur le tablier de charpente. On ajoute par-dessus un isolant en carton-fibre, en polystyrène ou en fibre de verre rigide, puis des couches de feutre liées et recouvertes de goudron chaud. On recouvre ensuite de gravier pour protéger les feutres et le goudron des rayons ultraviolets du soleil (figure 13). Le coupe-vapeur joue un rôle plus important dans la toiture que dans les murs. En effet, à cause de la concentration d'air chaud saturé de vapeur au niveau du plafond, toute fuite du coupe-vapeur peut entraîner des problèmes. La vapeur qui fuit se condense et gèle sous la membrane de la toiture.

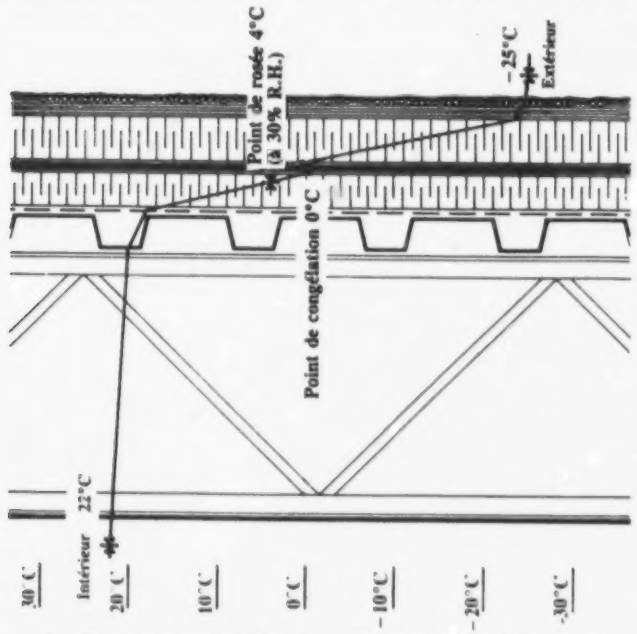


	Facteur RSI
Pellicule d'air extérieure	0,030
Toiture multicouche	0,058
Isolant à toiture rigide de 38 mm	1,053
Coupe-vapeur	Négl.
Tablier métallique	0,123
Pellicule d'air (chauffage)	0,105
RSI =	1,369

$$U = \frac{1}{1,369} = 0,73$$

Toit multicouche
Figure 13

Amélioration – Solution A – L'âge, l'état et le type d'isolant dictent l'ampleur des travaux à exécuter. Dans certains cas, il faut faire appel à un spécialiste pour qu'il inspecte et vérifie le toit. On peut améliorer ce dernier en enlevant la couche de gravier, les feutres et le goudron qui se détachent, réutiliser le coupe-vapeur et construire le nouveau toit sur le reste des matériaux (figure 14). Comme la mise de fond de ces travaux est égale au coût d'une nouvelle toiture, elle doit être évaluée en fonction de la durée de vie du toit. La quantité d'isolant à ajouter peut être limitée par la hauteur des chaperons et des solins périmétriques et par l'équipement installé sur le toit. On peut devoir poser de nouveaux solins si l'on augmente l'épaisseur de l'isolant.

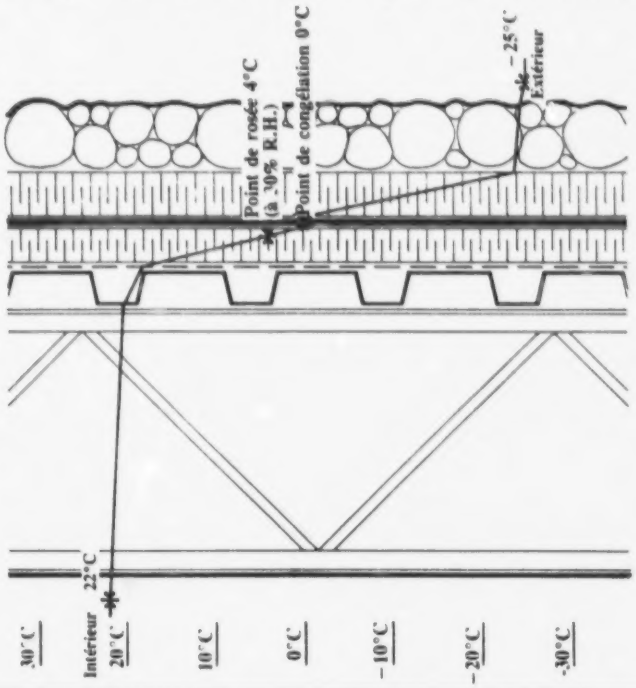


	Facteur RSI
Pellicule d'air extérieure	0,030
Toiture multicouche	0,058
Isolant à toiture rigide de 50 mm	1,385
Toiture multicouche	0,058
Isolant à toiture rigide de 38 mm	1,053
Coupe-vapeur	Négl.
Tablier métallique	0,123
Pellicule d'air (chauffage)	0,105
RSI =	2,812

$$U = \frac{1}{2,812} = 0,36$$

Toit multicouche
(Amélioration – Choix A)
Figure 14

Amélioration – Solution B – Enlever le gravier et installer une nouvelle couche d'isolant rigide sur la membrane. Il faut alors ajouter suffisamment de gravier pour empêcher l'isolant de flotter (figure 15). On doit prendre soin de ne pas perforer la membrane existante de la toiture puisqu'elle n'est pas remplacée. Comme il faut ajouter une grande quantité de gravier, l'effet du poids additionnel doit être calculé par un ingénieur civil.



	Facteur RSI
Pellicule d'air extérieure	0,030
Gravier grossier de 76 mm	0,046
Isolant à toiture rigide de 50 mm	1,385
Toiture multicouche	0,058
Isolant à toiture rigide de 38 mm	1,053
Coupe-vapeur	Négl.
Tablier métallique	0,123
Pellicule d'air (chauffage)	0,105
RSI =	2,800

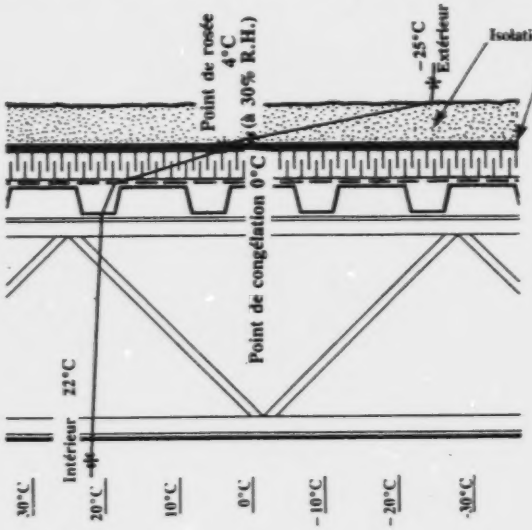
$$U = \frac{1}{2,800} = 0,36$$

Toiture multicouche
(Amélioration – Choix B)
Figure 15

Amélioration – Solution C – Enlever le goudron et le gravier qui se détachent, vaporiser une couche de mousse d'uréthane et appliquer ensuite du silicone pour l'extérieur (figure 16). Il s'agit d'une opération brevetée qui doit être effectuée par un spécialiste.

Avantages – L'isolant suggéré dans les solutions A, B et C s'installe facilement en différentes épaisseurs sans déranger le drainage, les solins et les raccords existants.

Désavantages – La solution C est une technique récente qui n'a pas été éprouvée. Seules quelques installations existent depuis une dizaine d'années. L'application peut être coûteuse puisqu'il s'agit d'une opération brevetée offerte par un petit nombre d'entrepreneurs. La surface de silicone peut facilement être endommagée par les oiseaux et le personnel d'entretien de la toiture. La mousse d'uréthane se brise sous l'effet du soleil une fois la couche de silicone endommagée et il peut y avoir des perforations dans le coupe-vapeur.



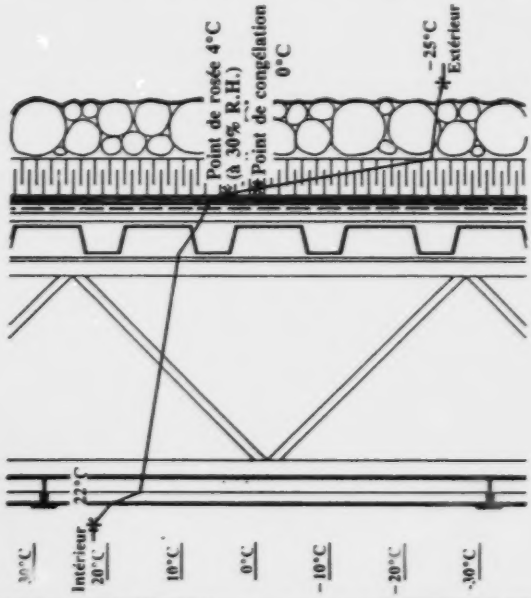
	Facteur RSI
Pellicule d'air extérieure	0,030
Isolation en uréthane de 50 mm	2,100
Toiture multicouche	0,058
Isolant à toiture rigide de 38 mm	1,053
Coupe-vapeur	Négl.
Tablier métallique	0,123
Pellicule d'air (chauffage)	0,105
RSI =	3,469

$$U = \frac{1}{3,469} = 0,288$$

Toit multicouche
(Amélioration – Choix C)
Figure 16

Toit renversé

Construction – L'isolant est posé au-dessus de la membrane hydrofuge (figure 17). Cette dernière n'est donc pas affectée par les températures extrêmes, les rayons ultraviolets ou autres sources de détérioration. On installe le coupe-vapeur et la membrane hydrofuge qui peuvent être le même matériel, sur le tablier ou la dalle de toiture où ils sont bien supportés par le tablier et protégés par l'isolant. De la condensation peut se former sur la membrane ou sur le côté inférieur du tablier par manque d'isolation.



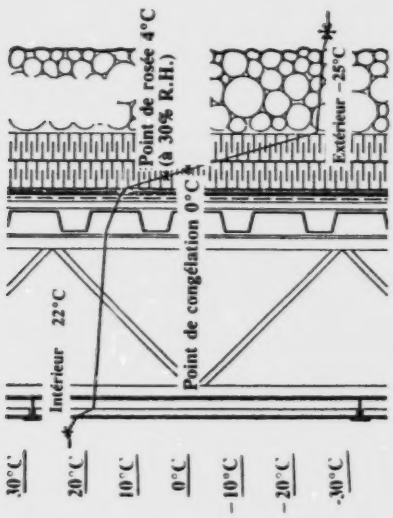
	Facteur RSI
Pellicule d'air extérieure	0,030
Gravier grossier de 76 mm	0,046
Isolant en polystyrène de 50 mm	1,285
Toiture multicouche/coupe-vapeur	0,058
Placoplâtre de 12 mm	0,074
Tablier métallique	0,123
Espace d'air	0,180
Tuile acoustique de 12 mm	0,220
Pellicule d'air intérieure	0,105
RSI =	2,121

$$U = \frac{1}{2,121} = 0,47$$

Toit renversé
Figure 17

Amélioration – Enlever le gravier, ajouter de l'isolant et remettre le gravier en place. Ajouter suffisamment de gravier pour le tenir en place (figure 18). Il s'agit d'une méthode facile à suivre car la membrane imperméable n'est pas touchée mais de sérieux problèmes de charpente peuvent surgir en raison du poids additionnel. La tolérance de la charpente *doit* être évaluée par un ingénieur.

Avantage – L'isolant supplémentaire déplace le point de rosée vers l'extérieur et maintient le coupe-vapeur suffisamment chaud pour éliminer toute condensation.



	Facteur RSI
Pellicule d'air extérieure	0.030
Gravier grossier de 152 mm	0.092
Isolant en polystyrène de 100 mm	2.570
Toiture multicouche/coupe-vapeur	0.058
Placoplâtre de 12 mm	0.074
Tablier métallique	0.123
Espace d'air	0.180
Tuile acoustique de 12 mm	0.220
Pellicule d'air intérieure	0.105
RSI =	3.452

$$U = \frac{1}{3.452} = 0.29$$

Toit renversé
(Amélioration)
Figure 18

Planchers

Le rez-de-chaussée d'un bâtiment, qu'il soit suspendu ou à dalle sur terre, est isolé adéquatement par l'isolant sur les fondations périmétriques. Comme le différentiel de température à travers le plancher est minime, le taux de transmission thermique est négligable.

Fenêtres

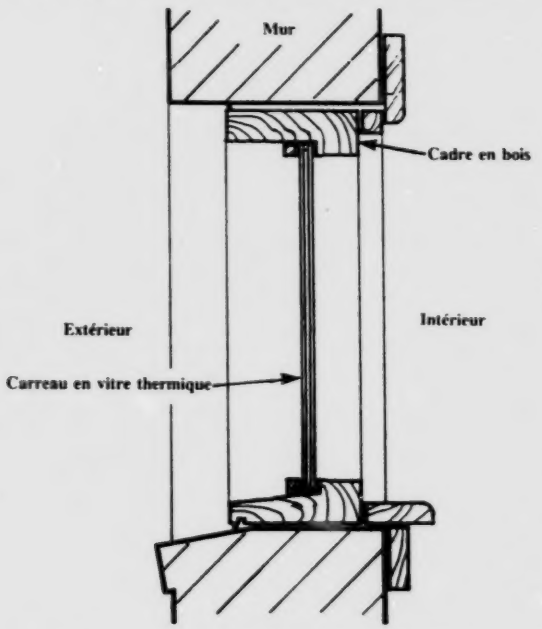
Tous les types de fenêtres présentent les caractéristiques suivantes:

- Le *vitrage* représente la plus grande partie d'une fenêtre. Il laisse passer la lumière tout en ralentissant la transmission thermique. On peut installer des vitres thermiques ou teintées pour réduire les gains solaires ou des vitres doubles ou triples pour réduire les gains et les pertes de chaleur. De grandes variations de température entre l'intérieur et l'extérieur de la fenêtre peuvent briser la vitre. Les radiateurs sous les fenêtres doivent être installés à l'extérieur des rideaux pour permettre à l'air de circuler.
- Le *cadre* qui soutient la vitre est une source éventuelle d'infiltration d'air et d'eau si elle n'est pas bien étanche entre le cadre et le mur ou le cadre et le châssis ouvrant. On peut réduire les infiltrations en installant un coupe-froid et du calfeutrage. Les scellants doivent être remplacés lorsqu'ils sont endommagés.
- Un *châssis* consiste en un cadre ouvrant portant le verre. S'il est mal fermé, il se produit des fuites d'air. Un contre-châssis peut réduire les fuites d'air et les pertes de chaleur à travers le verre parce qu'il agit comme une épaisseur de verre de protection additionnelle.
- Les *verrous* de fenêtres assurent la fermeture complète des fenêtres. Tout verrou brisé ou endommagé doit être réparé ou remplacé. Les fenêtres ouvrantes laissent s'infiltrer l'air et leur installation n'est pas recommandée dans un bâtiment climatisé.
- Les *dispositifs antisolaires* réduisent la pénétration des rayons solaires à travers les fenêtres. Les stores vénitiens, les stores verticaux, les persiennes ou les rideaux fournissent de l'ombre de l'intérieur. On recommande l'installation de dispositifs antisolaires extérieurs selon l'orientation du bâtiment et la surface de vitrage. Les surplombs, les persiennes à lames horizonales ou verticales (souvent réglables), ainsi que les lattis en bois, en métal ou en maçonnerie sont des exemples de dispositifs antisolaires extérieurs.

On doit tenir compte des fenêtres en terme de gains de chaleur l'été et de pertes de chaleur l'hiver. S'il y a possibilité d'économie d'énergie en réduisant la surface de vitrage, elle doit contrebalancer les exigences relatives à la vue, à la lumière et à la ventilation.

Vitrage

Amélioration – Solution A – Ajouter des vitres doubles ou triples étanches (figure 19). Au besoin, changer les cadres afin d'assurer un ajustement adéquat des fenêtres. Les cadres en bois s'ajustent facilement quoiqu'il soit plus pratique d'installer des cadres en aluminium.



	Facteur RSI
Pellicule d'air extérieure	0,030
Verre	0,020
Pellicule d'air intérieure	0,120
RSI =	0,170

$$U = \frac{1}{0.170} = 5.88$$

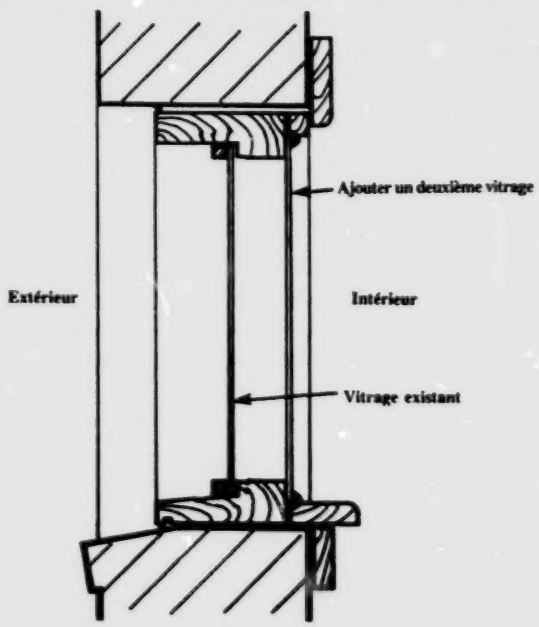
	Facteur RSI
Pellicule d'air extérieure	0,030
Verre	0,020
Espace d'air	0,171
Verre	0,020
Pellicule d'air intérieure	0,120
RSI =	0,361

$$U = \frac{1}{0,361} = 2,77$$

Vitrage scellé
Figure 19

Amélioration – Solution B – Ajouter un deuxième vitrage (survitrage) sur la paroi *intérieure* de la fenêtre (figure 20).

Un carreau de vitre habituellement installé dans un cadre d'aluminium est fixé au cadre de fenêtre existant. Grâce à un joint réutilisable, ce deuxième panneau peut être retiré pour le nettoyage puisque l'assemblage n'est pas scellé. On doit percer un trou dans le cadre pour permettre un minimum de ventilation du vide d'air. Cette technique est souvent utilisée pour les cadres de fenêtre en bois mais peut également être appliquée pour les cadres en acier ou en aluminium. Le montage intérieur de la vitre facilite l'installation.

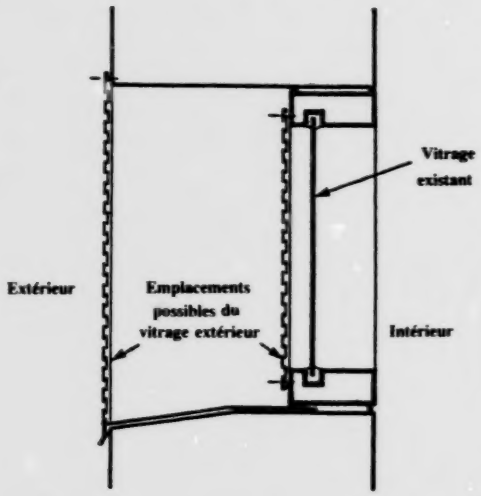


	Facteur RSI
Pellicule d'air extérieure	0,030
Verre	0,020
Espace d'air	0,171
Verre	0,020
Pellicule d'air intérieure	0,120
RSI =	0,361

$$U = \frac{1}{0,361} = 2,77$$

Double vitrage
(Intérieur)
Figure 20

Amélioration – Solution C – Installer une contre-fenêtre sur la paroi *extérieure* de la fenêtre. On peut fixer des contre-fenêtres aux cadres existants ou au-delà de ceux-ci pourvu qu'elles puissent être retirées pour le nettoyage (figure 21).

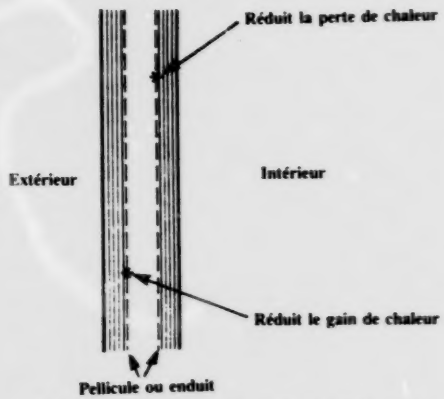


	Facteur RSI
Pellicule d'air extérieure	0,030
Verre	0,020
Espace d'air	0,171
Verre	0,020
Pellicule d'air intérieure	0,120
RSI =	0,361

$$U = \frac{1}{0,361} = 2,77$$

Double vitrage
(Extérieur)
Figure 21

Amélioration – Solution D – Installer une pellicule teintée ou réfléchissante sur la vitre (figure 22). La pellicule qu'on applique sur la surface intérieure de la vitre s'installe facilement même dans les édifices en hauteur. La réduction des rayons solaires est fonction du type de pellicule.



Pellicule réfléchissante
Figure 22

Le verre réfléchissant des fenêtres à double vitre peut réduire les pertes d'énergie. On peut réduire les pertes ou les gains de chaleur ou les deux selon la ou les surface(s) de verre sur lesquelles on applique une pellicule réfléchissante. Si l'on recouvre la surface extérieure du carreau intérieur, on réduit la perte de chaleur parce que l'espace d'air entre les carreaux est réchauffé. Si l'on recouvre la surface intérieure du carreau extérieur, on réduit le gain de chaleur solaire puisque les rayons du soleil sont réfléchis à travers le vitrage extérieur avant de pénétrer le vide d'air.

Les pellicules teintées affectent l'apparence d'un bâtiment. On obtient les meilleurs résultats avec des pellicules très réfléchissantes de teinte foncée. Lorsque la surface réfléchissante est orientée vers l'extérieur, l'apparence extérieure est uniforme mais inesthétique. Lorsque les surfaces réfléchissantes sont orientées vers l'intérieur, le miroitement des carreaux peut déranger les occupants en fin d'après-midi ou le soir.

Pour réduire les charges de conditionnement d'air l'été, il est nécessaire de traiter seulement les fenêtres orientées vers le sud, l'est et l'ouest. Mais pour uniformiser l'apparence, on installe souvent une pellicule sur les fenêtres également orientées vers le nord. Quoique l'installation de pellicules sur les fenêtres orientées vers le nord soit justifiée d'un point de vue esthétique, il est important de noter que cette mesure réduit également les pertes de chaleur en hiver. Même si le pourcentage d'économies en chauffage est moindre, l'économie se produit 24 heures sur 24 pendant la saison de chauffage.

Pour éviter que le vitrage ne se brise, il faut installer soigneusement les pellicules, surtout lorsqu'il s'agit de vitrage spécial comme du verre armé ou des fenêtres à carreaux thermiques. On recommande de consulter le fournisseur pour bien choisir le matériel selon l'application.

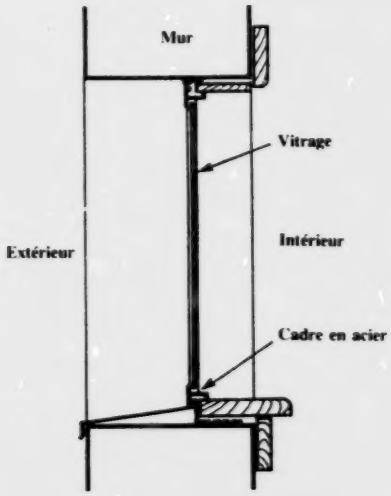
Cadres

Construction en bois – Le bois a une résistance thermique efficace mais demande beaucoup d'entretien.

Construction en aluminium – Les cadres en aluminium peuvent être standard ou isothermiques. Les cadres standard sont en aluminium continu formant des ponts thermiques et provoquant la condensation sur le cadre. Les cadres isothermiques ont une surface de coupe beaucoup plus grande à cause de l'entretoise en chlorure de polyvinyle (PVC) ou en néoprène fixée entre les parties intérieure et extérieure du cadre qui élimine les ponts thermiques.

Construction en acier – Un matériau très bon conducteur à profil étroit entraîne une importante perte de chaleur. On retrouve ce type de cadre dans les fenêtres ouvrantes et à vitrage simple des anciennes installations industrielles (figure 23).

Amélioration – Châssis ouvrant – les infiltrations entraînées par les fenêtres ouvertes peuvent être nécessaires si le bâtiment n'a pas de système d'air d'appoint ou de ventilation mécanique. Il importe de faire des recommandations au personnel sur l'utilisation des fenêtres. Si l'on décide de fermer le châssis ouvrant de façon permanente, la quincaillerie doit être enlevée des cadres.



Cadre en acier
Figure 23

Dispositifs antisolaires

Amélioration – Rideaux – Ils peuvent améliorer le rendement thermique et l'apparence d'un bâtiment en réduisant les courants d'air et les pertes et les gains de chaleur. Leur emplacement est important. S'ils couvrent les appareils de chauffage, l'efficacité du système de chauffage peut être grandement diminué.

Amélioration – Stores extérieurs – Il s'agit du dispositif antisolaire le plus efficace. Ils réduisent les gains de chaleur en ombrageant les surfaces de verre de l'extérieur, de façon que les rayons solaires n'atteignent jamais l'intérieur du bâtiment. Ce sont des persiennes horizontales ou verticales, ils sont coûteux à installer et demandent beaucoup d'entretien.

Amélioration – Stores intérieurs – Ils ne sont pas aussi efficaces que les dispositifs extérieurs puisque les rayons solaires peuvent s'infiltrer et réchauffer les stores, l'air et autres éléments. Ils sont toutefois moins coûteux à installer et peuvent améliorer l'apparence du bâtiment.

Portes

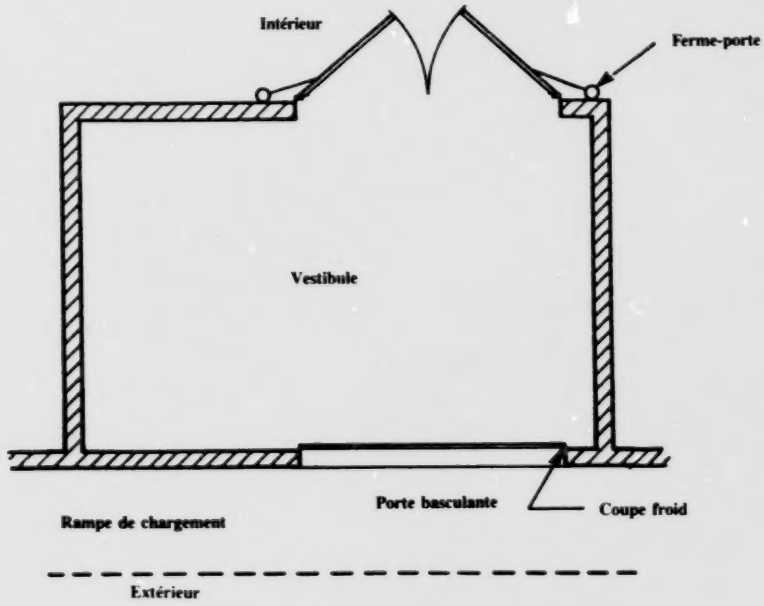
Il existe plusieurs types de portes, y compris les portes creuses ou en bois massif, métalliques creuses avec ou sans isolant, vitrées, battantes, coulissantes et tournantes. La résistance thermique varie selon la construction.

L'infiltration d'air représente le problème le plus important des portes, qu'elles soient ouvertes ou fermées. L'air se déplace entre la porte et le cadre le long du seuil (partie inférieure), de la tête (partie supérieure) et des montants (côtés). Les coupe-froid que l'on installe sur les montants de la porte, réduisent l'infiltration et se présentent sous forme de plaques et de ressorts en métal, de pièces rapportées et joints en vinyle et d'éponges en plastique et en caoutchouc. On installe, sur les seuils et les têtes de porte, des ressorts métalliques, des bandes à crochet métalliques, des pièces rapportées en vinyle et des joints d'étanchéité en néoprène, en feutre ou en caoutchouc. On peut minimiser les infiltrations en s'assurant que toutes les ferme-portes fonctionnent de manière appropriée et que la charnière de la porte est bien fixée au cadre.

Bien que le type de porte influence la perte de chaleur, ce facteur est moins significatif que la perte de chaleur qui survient lorsque la porte est ouverte. Lorsqu'on planifie et conçoit un nouveau bâtiment, les entrées de porte devraient être protégées ou orientées loin des vents dominants d'hiver. Dans les bâtiments existants, la meilleure amélioration est l'ajout d'un *vestibule*. Celui-ci doit être assez grand pour faciliter l'entrée et assez long pour permettre à la première série de portes de fermer avant l'ouverture de la deuxième.

Avec ou sans vestibule, toutes les mesures doivent être prises pour assurer que l'ouverture de la porte est à l'épreuve des intempéries. On doit ainsi installer des coupe-froid sur les trois côtés, s'assurer que les seuils sont à l'épreuve des intempéries et que le ferme-porte s'ajuste bien pour faciliter l'ouverture et la fermeture (figure 24).

Les portes tournantes réduisent les infiltrations et les exfiltrations puisqu'il n'y a jamais d'ouverture directe vers l'extérieur. Elles agissent ainsi comme un vestibule. L'installation de portes tournantes et automatiques est coûteuse et n'est pratique que lorsqu'il y a achalandage.



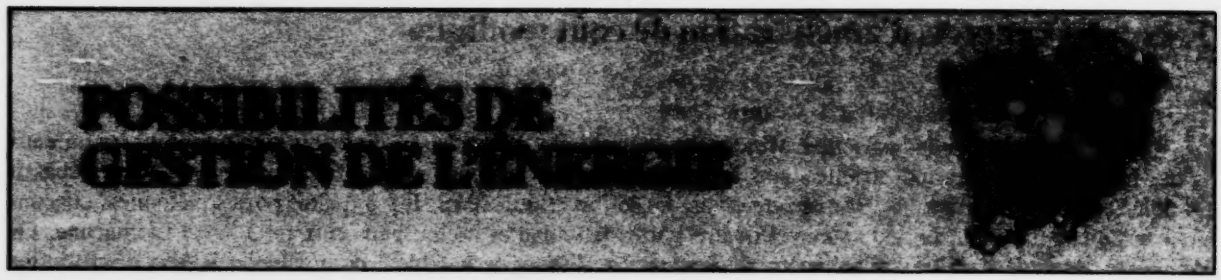
Vestibule
Figure 24

Rampes de chargement

Bien qu'une rampe de chargement enfermée assure un confort aux travailleurs et facilite les opérations, elle peut être considérée comme une mauvaise utilisation d'espace. Dans le passé, on retrouvait souvent ce type de rampe dans les entrepôts desservis par camions de transport et des wagons de chemin de fer. Aujourd'hui, ces rampes ne sont utilisées que dans des endroits achalandés.

De nos jours, on installe plutôt une porte battante alignée sur l'extrémité de la rampe de chargement et munie de joints en caoutchouc. Ces joints se règlent en hauteur et sont le plus souvent choisis en fonction des dimensions de la remorque de transport la plus utilisée. La remorque recule contre le joint et élimine ainsi la plupart des espaces d'air. Se référer au module 17 intitulé «Matériaux de manutention et transport sur place» pour connaître plus de détails.

Lorsqu'il y a une rampe de chargement extérieure, on peut réduire la consommation énergétique en déplaçant les vieilles portes ou en installant des nouvelles portes à l'extrémité extérieure. On pourrait également profiter des avantages d'un vestibule d'expédition ou d'une plate-forme temporaire. Si l'on croit que cet assemblage ralentira l'écoulement des matériaux, on peut installer des portes souples (en caoutchouc) ou des coupe-vent en bandes de vinyle dans les entrées de porte. On peut également pressuriser le vestibule avec de l'air chaud pour améliorer le confort, ce qui demande toutefois une plus grande quantité d'énergie.



Les Possibilités de gestion de l'énergie identifient différentes façons d'utiliser rationnellement l'énergie pour réduire les coûts d'exploitation. Dans le présent chapitre, plusieurs exemples de possibilités types sont donnés sous les rubriques Possibilités de maintenance, Possiblités d'amélioration de coût modique et Possibilités de rénovation. Il n'énumère pas de façon exhaustive toutes les possibilités d'un point de vue architectural. Il est toutefois destiné à stimuler la vigilance du personnel de gestion, d'exploitation et de maintenance dans la recherche de toutes les possibilités qu'offre leur installation. On peut également se référer à d'autres modules de la présente série pour examiner les Possibilités de gestion de l'énergie qu'offrent d'autres appareillages.

Possibilités de maintenance

Les Possibilités de maintenance sont des initiatives d'économie d'énergie exécutées de façon périodique, au moins une fois par année. En voici quelques exemples:

1. Vérifier la fermeture des portes extérieures et intérieures séparant des aires ayant des conditions ambiantes différentes. Éliminer les butoirs sur les portes automatiques séparant des aires de conditions différentes.
2. Réviser les méthodes d'expédition et de réception des marchandises afin de réduire le temps d'ouverture des portes de chargement, tout particulièrement en hiver.
3. Régler la quincaillerie des portes pour assurer une fermeture complète et rapide.
4. Régler ou remplacer la quincaillerie des fenêtres pour éliminer tout mouvement indésirable d'air à travers l'enveloppe du bâtiment.
5. Bien utiliser les dispositifs antisolaires, soit fermer les rideaux et les stores l'été et les ouvrir l'hiver lorsque les fenêtres sont directement exposées à la lumière solaire.
6. Réparer les joints de rampe endommagés ou mal ajustés.
7. Vérifier et régler les points de consigne de température du bâtiment.
8. Inspecter et réparer les fuites et les ouvertures dans le système de conditionnement d'air.

Possibilités d'amélioration de coût modique

Les Possibilités d'amélioration de coût modique sont des initiatives de gestion de l'énergie réalisées en une seule fois et dont le coût n'est pas élevé. En voici quelques exemples.

1. Calfeutrer les joints mal scellés entre les cadres de fenêtre et le mur et installer un coupe-froid.
2. S'il y a plus de fenêtres qu'il ne faut pour assurer lumière et confort, bloquer, isoler et sceller les fenêtres inutiles.
3. Sceller de façon permanente les fenêtres après l'installation d'un système de refroidissement et de ventilation.
4. Remplacer les carreaux de vitre fissurés ou brisés.
5. Installer des pellicules teintées et réfléchissantes sur le vitrage pour réduire les gains solaires. Les rideaux, les stores et les persiennes sont également efficaces.
6. Installer des ferme-portes automatiques pour minimiser l'infiltration de l'air extérieur.
7. Remplacer les portes endommagées, mal ajustées ou de faible facteur RSI, telles les portes creuses en métal.
8. Réparer les murs et les toits. Les petites réparations peu coûteuses entraînent souvent des bénéfices importants. Tout dommage visible, y compris les fissures dans le parement extérieur et les fuites dans la membrane du toit devrait être réparé.
9. Réparer l'isolant endommagé ou le coupe-vapeur perforé et installer de l'isolant où il en manque.

Exemples concrets d'amélioration de coût modique

1. Sceller les fenêtres et installer les coupe-froid

Dans une installation industrielle à Minden, en Ontario, il y a des châssis de fenêtres en bois dans les bureaux et des fenêtres pivotantes industrielles dans l'entrepôt adjacent. La longueur des fissures mesurée sur les châssis en bois et les châssis pivotants est respectivement de 150 m et de 280 m. Il y a quatre portes piétonnes, chacune de 1 m de largeur sur 2 m de hauteur et quatre portes basculantes à cinq panneaux de 3 sur 3 m chacune. On s'est servi des taux d'infiltration par mètre de longueur de fissure de la table 3 pour calculer le taux d'infiltration total actuel et le taux d'infiltration prévu après le calfeutrage et l'installation des coupe-froid. On a calculé les économies d'énergie dans l'exemple concret 1 à l'aide de la feuille de travail 18-1.

Des économies annuelles prévues de 12 506$ ont été calculées à partir d'améliorations évaluées à 8 000$. La période de rentabilité est de 8 mois.

2. Calfeutrage des joints

Les fenêtres à châssis pivotant d'un bâtiment à Minden en Ontario avaient une largeur de fissure moyenne de 1,2 mm aux joints des fenêtres. La longueur de fissure totale était de 300 m. Le bâtiment était chauffé au mazout à un coût de 0,45$ le litre. On a proposé de calfeutrer tous les joints pour réduire la largeur de fissure à 0,8 mm en moyenne. À partir de la table 3, on a calculé les taux d'infiltration existants et proposés, à partir desquels on a pu évaluer les économies d'énergie totales. Ces calculs figurent dans l'exemple concret 2 et proviennent de la feuille de travail 18-1.

En réduisant le taux d'infiltration total de 684 L/s à 480 L/s, on a obtenu des économies annuelles de 1 538$. La période de rentabilité pour les 600$ de calfeutrage a été de 7 mois.

3. Installer un joint de rampe

L'hiver, les infiltrations d'une rampe de chargement entraînent des courants d'air et affectent le confort des travailleurs. On peut économiser de l'argent et améliorer le confort des travailleurs en installant un joint de rampe réduisant l'ouverture. Par exemple, deux portes de chargement d'un petit entrepôt sont 150 mm plus hautes et plus larges que les remorques. Les portes sont de 2,4 m de haut sur 2,4 m de large et sont utilisées 3 heures par jour, 5 jours sur 7. On réchauffe l'air ambiant à l'aide d'un appareil de chauffage au mazout.

On propose de réduire l'écart de 150 mm entre les remorques et le cadre de porte à 25 mm en installant des joints de rampe. La température de calcul extérieure est de -26°C, la température intérieure est de 20°C et il y a 4 966 degrés-jours de chauffage. Le coût du mazout est de 0,45$ le litre. Les économies sont calculées dans l'exemple concret 3 à l'aide de la feuille de travail 18-4.

On pourrait obtenir des économies annuelles de 822$ à partir d'amélioration évaluées à 2 000$. La période de rentabilité est de 2,5 ans lorsque les portes servent 15 heures par semaine, cette période diminuant lorsqu'elles servent davantage.

Possibilités de rénovation

Les Possibilités de rénovation sont des initiatives de gestion de l'énergie réalisées en une seule fois et dont le coût est important. Comme la plupart des possibilités de cette catégorie demande une analyse approfondie effectuée par des spécialistes, elles ne peuvent toutes être traitées dans le présent module. Certaines possibilités d'économie d'énergie typiques sont toutefois appuyées par des exemples concrets.

1. Améliorer les portes, les fenêtres et les rampes de chargement de l'enveloppe du bâtiment.
2. Remplacer les portes extérieures d'une aire achalandée par des portes tournantes.
3. Installer des vestibules bien construits et à l'épreuve des intempéries à l'entrée de bâtiments achalandés.
4. Installer des joints de rampe autour des portes d'expédition et de réception.
5. Installer de l'isolant additionnel au toit et réparer la membrane du toit.
6. Remplacer le coupe-vapeur et l'isolant des murs.
7. Réduire le vitrage en bloquant les fenêtres inutiles ou installer un contre-châssis sur les fenêtres à carreau simple.

Exemples concrets de possibilités de rénovation

1. Enlever le parement/Ajouter de l'isolant/Replacer le parement

Un entrepôt de 7 000 m^2 dont la surface nette du mur est de 1 240 m^2 est construit de panneaux de façade métalliques isolés avec 50 mm de fibre de verre. L'entrepôt est à Minden en Ontario où la température de calcul extérieure est de -26°C et les degrés-jours de chauffage sont 4 966. La température intérieure est maintenue à 20°C. Le prix du mazout pour le chauffage est de 0,45$ le litre.

On propose d'enlever le parement extérieur existant et d'ajouter 50 mm d'isolant dont le coût de main-d'oeuvre et de matériaux s'élèverait à 15 000$. On obtient des économies d'énergie de 2 103$ selon les calculs de l'exemple concret 1 provenant de la feuille de travail 18-2. La période de rentabilité est de 7,1 ans.

2. Installer un parement métallique isolé sur un mur de brique

Une usine dont la surface nette du mur est de 360 m^2 est construite en blocs de béton avec un parement en brique. Son apparence s'est détériorée avec le temps.

On a voulu améliorer l'apparence du bâtiment en installant un parement métallique coloré sur la brique existante. Après d'autres analyses, on en a conclu que l'installation d'un parement plus coûteux avec de l'isolation entraînerait des économies d'énergie.

Le facteur RSI du panneau isolant est de 1,612 (U = 0,62) comparé au facteur de 0,572 du panneau en acier standard. Le bâtiment est à London en Ontario où la température de calcul hivernale est de -18°C et où il y a 4 067 degrés-jours de chauffage. La température intérieure est maintenue à 20°C et le bâtiment est chauffé au gaz naturel à un prix de 0,21$ le mètre cube.

On a évalué le coût des panneaux isolés et non isolés à 17 000$ et 13 000$ respectivement. Les économies d'énergie et d'argent réalisées ont été calculées dans l'exemple concret 2 à l'aide de la feuille de travail 18-2.

Si l'on suppose qu'il est nécessaire d'installer le nouveau parement, l'installation avec isolant pourrait entraîner des économies annuelles d'énergie de 1 034$ à un coût additionnel de 17 000$ − 13 000$ = 4 000$. La période de rentabilité s'obtient en divisant le coût supplémentaire par les économies annuelles.

$$\text{Période de rentabilité} = \frac{4\,000\$}{1\,034\$} = 3{,}9 \text{ ans}$$

3. Isoler les panneaux vitrés

Les courants d'air provenant d'un puits de lumière de 35 m^2 dérangeaient les travailleurs d'une usine de New Liskeard en Ontario. De plus, le puits de lumière entraînait des variations d'éclairage indésirables. Après avoir étudié plusieurs solutions, on a décidé de sceller le puits de lumière et d'isoler les surfaces vitrées pour économiser plus d'énergie. On éliminait par le fait même les courants d'air et les problèmes d'éclairage. Les économies d'énergie en dollars sont calculés dans l'exemple concret 3 à l'aide de la feuille de travail 18-2.

On a évalué une économie annuelle de 1 405$ pour un coût initial de 3 000$. La période de rentabilité est de 2,1 ans.

4. Ajouter de l'isolant dans les murs

On devait bâtir une nouvelle installation à Minden en Ontario. L'entrepreneur avait proposé des murs en panneaux métalliques isolés avec 38 mm de fibre de verre. Pour tenter d'économiser sur les coûts énergétiques, le propriétaire a demandé d'étudier la possibilité d'augmenter l'épaisseur de l'isolant à 88 mm. Le coût de cet isolant additionnel de 50 mm s'élèverait à 1 600$ par 100 m^2 de surface murale.

Selon les calculs de l'exemple concret 4, feuille de travail 18-2, on obtiendrait des économies d'énergie annuelles de 281$ par 100 m^2 et la période de rentabilité serait de 5,7 ans. Si cette période dépassait les limites fixées par l'entreprise, le calcul pourrait être répété en utilisant différentes épaisseurs d'isolant. On pourrait installer une plus petite quantité d'isolant additionnelle pour économiser de l'énergie et répondre aux critères de rentabilité de l'entreprise.

5. Ajouter de l'isolant à toiture

Selon une analyse de diagnostic, une usine de 1 970 m^2 comprenait deux genres de toits, tous les deux à faible résistance thermique, ce qui entraînait des pertes importantes de chaleur. L'ajout d'isolant réduirait les pertes de chaleur et les coûts énergétiques. On proposa d'ajouter 30 mm de mousse d'uréthane à la charpente. Le facteur U du toit de type «A» a été réduit de 0,782 à 0,394 et celui du type «B», de 1,709 à 0,542 $W/m^2 \cdot C$.

Pour une ville comme Minden où il y a 4 966 degrés-jours de chauffage et la température extérieure est de -26°C, on pourrait obtenir des économies d'énergie annuelles de 7 516$. Le coût de l'amélioration s'élèverait à 39 400$. Comme le démontre l'exemple concret 5 et la feuille de travail 18-2, la période de rentabilité est de 5,2 ans.

Infiltration — portes et fenêtres
Feuille de travail 18-1
Page 1 de 3

Entreprise: EXEMPLE No. 1 Date: JANVIER 186

Endroit: COÛT MOOIQUE Par: MBE

EXIGENCES NOMINALES:

Température intérieure (T_2) 20 °C (1)

Température extérieure (T_1) -26 °C (2)

(1) − (2) = 20 − (-26) = 46 °C (3)

Degrés-jours sous 18°C 4 966 (4)
(À partir du C.N.B.)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz _____ ($/m³) _____ (5)

Mazout _____ ($/L) 0,45 (6)

Électricité ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte des charges de pointe)

PORTES ET FENÊTRES EXISTANTES:

(Donner les dimensions, le type, l'état, la longueur et la largeur des fissures et la fréquence d'ouverture.)

Fenêtres existantes −

Type 1:

PETITES
- CHÂSSIS EN BOIS, QUALITÉ MOYENNE
- LONGUEUR TOTAL DE FISSURES = 150M (CÔTÉ EXPOSÉ AU VENT)

Type 2:

PIVOTANTES INDUSTRIELLES
- LONGUEUR TOTALE DE FISSURES = 280M (CÔTÉ EXPOSÉ AU VENT)

Type 3:

Portes existantes -

Type 1:

PORTES (4)
- CHACUNE 1M x 2M

Type 2:

PORTES D'USINE (4)
- 5 SECTIONS
- 3M x 3M (CÔTÉ EXPOSÉ AU VENT)

Type 3:

Infiltration — portes et fenêtres
Feuille de travail 18-1
Page 2 de 3

Entreprise: EXEMPLE NO. 1 Date: JANVIER 186

Endroit: COÛT MODIQUE Par: MBE

INFILTRATION EXISTANTE SELON LA MÉTHODE DES «FISSURES» (Table 3)

		Longeur (m)		Taux d'infiltration [L/(s·m)]		Infiltration totale (L/s)
Portes:	Type 1	24	x	5,7	=	137
	Type 2	96	x	14,9	=	1 430
	Type 3		x		=	
Fenêtres:	Type 1	150	x	1,01	=	152
	Type 2	280	x	4,49	=	1 257
	Type 3		x		=	
				Infiltration existante	=	2 976 (8)

AMÉLIORATIONS PROPOSÉES:

AJOUTTER DES COUPE-FROID AUX PORTES ET FENÊTRES, SCELLER LES FENÊTRES INDUSTRIELLES.

INFILTRATION REVISÉE SELON LA MÉTHODE DES «FISSURES»

		Longeur (m)		Taux d'infiltration [L/(s·m)]		Infiltration totale (L/s)
Portes:	Type 1	24	x	1,4	=	34
:	Type 2	96	x	5,7	=	547
	Type 3		x		=	
Fenêtres:	Type 1	150	x	0,62	=	93
	Type 2	280	x	2,28	=	638
	Type 3		x		=	
				Infiltration proposée	=	1 312 (9)

Infiltration — portes et fenêtres
Feuille de travail 18-1
Page 3 de 3

Entreprise: EXEMPLE No.1 Date: JANVIER /86

Endroit: COÛT MODIQUE Par: MBE

RÉDUCTION DE L'INFILTRATION (fa):

fa = infiltration existante − infiltration revisée

= 2 976 (8) − 1 312 (9) = 1 664 (L/S) (10)

Réduction totale de l'infiltration (perte de chaleur):

$Q = 1{,}232 \times fa \times (T_2 - T_1)$

= 1,232 x 1 664 (10) x 46 (3) = 94 302 (W) (11)

soit = $\frac{94\ 302}{1\ 000}$ (11) = 94,3 kW (12)

ÉCONOMIE ANNUELLE PRÉVUE PAR ANNÉE:

GAZ:

= 2,95 x _____ (5) x _____ (12) _____ $\frac{(4)}{(3)}$ = _____ $ (13)

MAZOUT:

= 2,73 x 0,45 (6) x 94,3 (12) $\frac{4\ 946}{46}$ $\frac{(4)}{(3)}$ = 12 506 $ (14)

ÉLECTRICITÉ

= 16,8 x _____ (7) x _____ (12) _____ $\frac{(4)}{(3)}$ = _____ $ (15)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: _____ $ (16)

ÉCONOMIE TOTALE PRÉVUE:

= _____ (13) + 12 506 (14) + _____ (15) = 12 506 $ (17)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = $\frac{8\ 000}{12\ 506}$ $\frac{(16)}{(17)}$ = 0,64 (8 MOIS) ans

Infiltration — portes et fenêtres
Feuille de travail 18-1
Page 1 de 3

Entreprise: EXEMPLE NO. 2 Date: JANVIER /86

Endroit: COÛT MODIQUE Par: MBE

EXIGENCES NOMINALES:

Température intérieure (T_2) 20 °C (1)

Température extérieure (T_1) -26 °C (2)

(1) − (2) = 20 −(-26) = 46 °C (3)

Degrés-jours sous 18°C 4 966 (4)
(À partir du C.N.B.)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz _____ ($/m^3$) _____ (5)

Mazout _____ ($/L) 0,45 (6)

Électricité ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte des charges de pointe)

PORTES ET FENÊTRES EXISTANTES:

(Donner les dimensions, le type, l'état, la longueur et la largeur des fissures et la fréquence d'ouverture.)

Fenêtres existantes −

Type 1:

CHASSIS EN PROFILÉ
-FISSURES EN MOYENNE
DE=1,2mm
-LONGUEUR DES FISSURES=300m

Type 2:

Type 3:

Portes existantes -

Type 1:

Type 2:

Type 3:

Infiltration — portes et fenêtres
Feuille de travail 18-1
Page 2 de 3

Entreprise: EXEMPLE No. 2 Date: JANVIER /86

Endroit: COÛT MODIQUE Par: MBE

INFILTRATION EXISTANTE SELON LA MÉTHODE DES «FISSURES» (Table 3)

		Longeur (m)		Taux d'infiltration [L/(s·m)]		Infiltration totale (L/s)
Portes:	Type 1		x		=	
	Type 2		x		=	
	Type 3		x		=	
Fenêtres:	Type 1	300	x	2,28	=	684
	Type 2		x		=	
	Type 3		x		=	

Infiltration existante = _____ (8)

AMÉLIORATIONS PROPOSÉES:

- SCELLER TOUTS LES JOINTS FOUR RÉDUIRE LA LARGEUR MOYENNE DES FISSURES A 0,8 MM.

INFILTRATION REVISÉE SELON LA MÉTHODE DES «FISSURES»

		Longeur (m)		Taux d'infiltration [L/(s·m)]		Infiltration totale (L/s)
Portes:	Type 1		x		=	
:	Type 2		x		=	
	Type 3		x		=	
Fenêtres:	Type 1	300	x	1,60	=	480
	Type 2		x		=	
	Type 3		x		=	

Infiltration proposée = 480 (9)

Infiltration — portes et fenêtres
Feuille de travail 18-1
Page 3 de 3

Entreprise: EXEMPLE NO. 2 Date: JANVIER /86

Endroit: COÛT MODIQUE Par: MBE

RÉDUCTION DE L'INFILTRATION (fa):

fa = infiltration existante − infiltration revisée

= 684 (8) − 480 (9) = 204 (L/S) (10)

Réduction totale de l'infiltration (perte de chaleur):

$Q = 1{,}232 \times fa \times (T_2 - T_1)$

= 1,232 x 204 (10) x 46 (3) = 11 561 (W) (11)

soit = $\frac{11\,561}{1\,000}$ (11) = 11,6 kW (12)

ÉCONOMIE ANNUELLE PRÉVUE PAR ANNÉE:

GAZ:

= 2,95 x _____ (5) x _____ (12) _____ $\frac{(4)}{(3)}$ = _____ $ (13)

MAZOUT:

= 2,73 x 0,45 (6) x 11,6 (12) $\frac{4\,966}{46}$ $\frac{(4)}{(3)}$ = 1 538 $ (14)

ÉLECTRICITÉ

= 16,8 x _____ (7) x _____ (12) _____ $\frac{(4)}{(3)}$ = _____ $ (15)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: _____ $ (16)

ÉCONOMIE TOTALE PRÉVUE:

= — (13) + 1 538 (14) + — (15) = 1 538 $ (17)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = $\frac{600}{1\,538}$ $\frac{(16)}{(17)}$ = 0,39 (7 mois) ans

Infiltration — grandes ouvertures
Feuille de travail 18-4
Page 1 de 3

Entreprise: EXEMPLE NO. 3 Date: JANUVIER /86

Endroit: COÛT MODIQUE Par: MBE

EXIGENCES NOMINALES

Température intérieure (T_2) 20 °C (1)

Température extérieure (T_1) -26 °C (2)

(1) − (2) = 20 − (-26) = 46 °C (3)

Degrés-jours sous 18°C 4 966 (4)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz ---------- (Cf) ($/m³) _____ (5)

Mazout ---------- (Cf) ($/L) 0,45 (6)

Électricité ---------- (Ce) ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte de charges de pointe)

OUVERTURES EXISTANTES:

(Donner les détails de la superficie et la fréquence d'ouverture)

-2 PORTES DE CHARGEMENT, CHACUNE 2,4m x 2,4m, AUCUN JOINTS DE RAMPE

-ÉCART DE 150MM ENTRE LES CAMIONS ET LES MONTANTS ET LA TÊTE DES PORTES

-OUVERTES 3 HEURES / JOUR, 5 JOURS / SEMAINE

2,4x3x0,130x2 = Surface de l'ouverture (A) 2,16 m² (8)

3x5 = Temps pendant laquelle la surface est ouverte/sem. (OT = 15 h (9)

INFILTRATION EXISTANTE:

fa = Eo x A x v x 1000 x OT (voir Notions de base)

= 0,4 x _____ (8) x 1,7 x 1000 x $\frac{\text{_____}}{168}$ (9) = _____ (10), ou

= 4,05 x 2,16 (8) x 15 (9) = 131 (10)

Infiltration — grandes ouvertures
Feuille de travail 18-4
Page 2 de 3

Entreprise: EXEMPLE NO. 3 Date: JANUVIER / 86

Endroit: COÛT MODIQUE Par: MBE

AMÉLIORATIONS PROPOSÉES:

- AJOUTER DES JOINTS DE RAMPE POUR RÉDUIRE L'ÉCART À 25 MM EN MOYENNE

2,4x3x0,025x 2= Surface de l'ouverture (A) 0,36 m^2 (11)

Temps pendant laquelle la surface est ouverte/sem. (OT 15 h (12)

INFILTRATION RÉVISÉE:

fa = Eo x A x v x 1000 x OT (voir Notions de base)

= 0,4 x _____ (11) x 1,7 x 1000 x $\frac{\text{_____}}{168}$ (12) = _____ (13), ou

= 4,05 x 0,36 (11) x 15 (12) = 22 (13)

RÉDUCTION DE L'INFILTRATION (fa):

fa = infiltration existante − infiltration revisée

= 131 (10) − 22 (13) = 109 (L/s) (14)

Total des économies en infiltration (perte de chaleur):

Q = 1,232 x fa x (T_2 − T_1)

= 1,232 x 109 (14) x 46 (3) = 6 177 (W) (15)

soit = $\frac{\text{6 177}}{\text{1 000}}$ (15) = 6,2 kW (16)

Infiltration — grandes ouvertures
Feuille de travail 18-4
Page 3 de 3

Entreprise: EXEMPLE NO 3 Date: JANVIER /86

Endroit: COÛT MODIQUE Par: MBE

ÉCONOMIES ANNUELLES PRÉVUES

GAZ:

= 2,95 x _____ (5) _____ (16) x _____ (4) = _____ $ (17)
_____ (3)

MAZOUT:

= 2,73 x 0,45 (6) 6,2 (16) x 4 966 (4) = 822 $ (18)
46 (3)

ÉLECTRICITÉ:

= 16,8 x _____ (7) _____ (16) x _____ (4) = _____ $ (19)
_____ (3)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: 2 000 $ (20)

ÉCONOMIE TOTALE ANNUELLE PRÉVUE:

— (17) + 822 (18) — (19) = 822 $ (21)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = 2000 (20) = 2,4 ans
822 (21)

Transmission thermique — murs
Feuille de travail 18-2
Page 1 de 2

Entreprise: EXEMPLE NO. 1 Date: JANVIER /86

Endroit: RÉNOVATION Par: MBE

EXIGENCES NOMINALES

Température intérieure (T_2) 20 °C (1)

Température extérieur (T_1) -26 °C (2)

(1) − (2) = 20 − (-26) = 46 °C (3)

Degrés-jours sous 18°C (À partir du C.N.B.) 4 966 (4)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz ---------- ($/m³) _____ (5)

Mazout ---------- ($/L) 0,45 (6)

Élictricité ---------- ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte des charged de pointe)

CHARPENTE MURALE «EXISTANTE»

RSI = 1,484

U = $\frac{1}{RSI}$ = 0,684 (8)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CONDITIONS «EXISTANTES»

PÉLLICULE D'AIR EXTERIEURE	0,030
PAREMENT MÉTALLIQUE	0,123
ESPACE D'AIR	0,171
ISOLATION FIBRE DE VERRE 50MM	1,040
COUPE VAPEUR-PAREMENT METALLIQUE	NÉGL.
PÉLLICULE D'AIR INTERIEURE	0,120
	1,484

CHARPENTE MURALE «PROPOSÉE»

RSI = 2,524

U = $\frac{1}{RSI}$ = 0,396 (9)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CHANGEMENTS «PROPOSÉS»

ENLEVER LE PAREMENT MÉTALLIQUE	—
AJOUTER ISOLANT EN FIBRE DE VERRE 50mm	1,040
RÉ-INSTALLER LE PAREMENT	—
MUR EXISTANT	1,484
	2,524

Pour connaître le facteur RSI de différents matériaux de construction, se référer à la section «Matériaux et assemblages» et à la table 1 de l'annexe B.

Transmission thermique — murs

Feuille de travail 18-2
Page 2 de 2

Entreprise: EXEMPLE NO. 1 Date: JANVIER /86

Endroit: RÉNOVATION Par: MBE

Surface murale nette (surface murale − surface de toutes l ortes et fenêtres)

Longueur x largeur = _____ x _____ = _____ m²

Fenêtres (châssis) (−) _____ m²

Portes (cadre) (−) _____ m²

Surface murale nette = 1 240 m² (10)

Perte de chaleur (existante) = 0,674 (8) x 1 240 (10) x 46 (3)
= 38 444 W (11)

Perte de chaleur (proposée) = 0,396 (9) x 1 240 (10) x 46 (3)
= 22 587 W (12)

Perte de chaleur (économisée) = 38 444 (11) − 22 587 (12) = 15 857 W (13)
= 15 857 / 1 000 (13) = 15,86 kW (14)

ÉCONOMIE D'ÉNERGIE ANNUELLE PRÉVUE:

Gaz:

= 2,95 x _____ (5) x _____ (14) x _____ (4) = _____ $ (15)
_____ (3)

Mazout:

= 2,73 x 0,45 (6) x 15,86 (14) x 4 966 (4) = 2 103 $ (16)
46 (3)

Électricité:

= 16,8 x _____ (7) x _____ (14) x _____ (4) = _____ $ (17)
_____ (3)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: 15 000 $ (18)

ÉCONOMIE TOTALE ANNUELLE PRÉVUE:

— (15) + 2 103 (16) + _____ (17) = 2103 $ (19)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = 15 000 (18) / 2 103 (19) = 7,1 ans

Transmission thermique — murs
Feuille de travail 18-2
Page 1 de 2

Entreprise: EXEMPLE NO. 2 Date: JANVIER 186

Endroit: RÉNOVATION Par: M B E

EXIGENCES NOMINALES

Température intérieure (T_2) 20 °C (1)

Température extérieur (T_1) -18 °C (2)

(1) – (2) = 20 – (-18) = 38 °C (3)

Degrés-jours sous 18°C (À partir du C.N.B.) 4 067 (4)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz ---------- ($/m³) 0,21 (5)

Mazout ---------- ($/L) _____ (6)

Élictricité ---------- ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte des charged de pointe)

AMÉLIORATION ORIGINALE
CHARPENTE MURALE
~~«EXISTANTE»~~

RSI = 0,572

U = $\frac{1}{RSI}$ = 1,75 (8)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CONDITIONS «EXISTANTES»

PELLICULE D'AIR EXTÉRIEURE	0,030
PAREMENT MÉTALLIQUE	0,123
BRIQUE 100mm	0,074
BLOC DE BÉTON 300mm	0,225
PELLICULE D'AIR INTÉRIEURE	0,120
	0,572

COUT 13 000 $

AMÉLIORATION ORIGINALE PLUS ISOLANT
CHARPENTE MURALE
«PROPOSÉE»

RSI = 1,612

U = $\frac{1}{RSI}$ = 0,62 (9)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CHANGEMENTS «PROPOSÉS»

MUR EXISTANT	0,572
ISOLANT DE 50mm F.V.	1,040
	1,612

COUT 17 000 $

Pour connaître le facteur RSI de différents matériaux de construction, se référer à la section «Matériaux et assemblages» et à la table 1 de l'annexe B.

Transmission thermique — murs
Feuille de travail 18-2
Page 2 de 2

Entreprise: EXEMPLE NO·2 Date: JANVIER 186

Endroit: RÉNOVATION Par: MBE

Surface murale nette (surface murale − surface de toutes les portes et fenêtres)

Longueur x largeur = _____ x _____ = _____ m²

Fenêtres (châssis) (−) _____ m²

Portes (cadre) (−) _____ m²

Surface murale nette = 360 m² (10)

Perte de chaleur (existante) = 1,75 (8) x 360 (10) x 38 (3)
= 23 940 W (11)

Perte de chaleur (proposée) = 0,62 (9) x 360 (10) x 38 (3)
= _____ W (12)

Perte de chaleur (économisée) = 23 940 (11) − 8 481 (12) = 15 459 W (13)
= 15 459 / 1 000 (13) = 15,6 kW (14)

ÉCONOMIE D'ÉNERGIE ANNUELLE PRÉVUE:

Gaz:

= 2,95 x 0,21 (5) x 15,6 (14) x 4 067 / 38 (4) (3) = 1 034 $ (15)

Mazout:

= 2,73 x _____ (6) x _____ (14) x _____ / _____ (4) (3) = _____ $ (16)

Électricité:

= 16,8 x _____ (7) x _____ (14) x _____ / _____ (4) (3) = _____ $ (17)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: (DIFFÉRENCE) 4 000 $ (18)

ÉCONOMIE TOTALE ANNUELLE PRÉVUE:

1 034 (15) + — (16) + — (17) = 1 034 $ (19)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = 4 000 (18) / 1 034 (19) = 3,9 ans

Transmission thermique — murs
Feuille de travail 18-2
Page 1 de 2

Entreprise: EXEMPLE NO. 3 Date: JANVIER 186

Endroit: RÉNOVATION Par: MBE

EXIGENCES NOMINALES

Température intérieure (T_2) 20 °C (1)

Température extérieur (T_1) -32 °C (2)

(1) − (2) = 20 − (-32) = 52 °C (3)

Degrés-jours sous 18°C 5 664 (4)
(À partir du C.N.B.)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz ---------- ($/m³) _____ (5)

Mazout ---------- ($/L) 0,45 (6)

Élictricité ---------- ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte des charged de pointe)

PUITS DE LUMIÈRE (LUCARNE)
~~CHARPENTE MURALE~~
«EXISTANTE»

RSI = 0,155

U = $\frac{1}{RSI}$ = 6,45 (8)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CONDITIONS «EXISTANTES»

PELLICULE D'AIR EXTERIEURE	0,030
LUCARNE	0,020
PELLICULE D'AIR INTERIEURE	0,105
	0,155

PUITS DE LUMIÈRE (LUCARNE)
~~CHARPENTE MURALE~~
«PROPOSÉE»

RSI = 1,489

U = $\frac{1}{RSI}$ = 0,67 (9)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CHANGEMENTS «PROPOSÉS»

AJOUTER -30MM D'ISOLANT EN URÉTHANE	1,260
PLACOPLÂTRE - 12 MM	0,074
MATÉRIAUX EXISTANTS	0,155
	1,489

Pour connaître le facteur RSI de différents matériaux de construction, se référer à la section «Matériaux et assemblages» et à la table 1 de l'annexe B.

Transmission thermique — murs

Feuille de travail 18-2
Page 2 de 2

Entreprise: EXEMPLE NO. 3 Date: JANVIER 186

Endroit: RÉNOVATION Par: M B E

Surface murale nette (surface murale − surface de toutes les portes et fenêtres)

Longueur x largeur = _____ x _____ = _____ m²

Fenêtres (châssis) (−) _____ m²

Portes (cadre) (−) _____ m²

LUCARNE
~~Surface murale nette~~ = 35 m² (10)

Perte de chaleur (existante) = 6,45 (8) x 35 (10) x 52 (3)
= 11 739 W (11)

Perte de chaleur (proposée) = 0,67 (9) x 35 (10) x 52 (3)
= 1 219 W (12)

Perte de chaleur (économisée) = 11 739 (11) − 1 219 (12) = 10 520 W (13)
= $\frac{10\,520}{1\,000}$ (13) = 10,5 kW (14)

ÉCONOMIE D'ÉNERGIE ANNUELLE PRÉVUE:

Gaz:

= 2,95 x _____ (5) x _____ (14) x _____ (4) = _____ $ (15)
_____ (3)

Mazout:

= 2,73 x 0,45 (6) x 10,5 (14) x 5 664 (4) = 1 405 $ (16)
52 (3)

Électricité:

= 16,8 x _____ (7) x _____ (14) x _____ (4) = _____ $ (17)
_____ (3)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: 3 000 $ (18)

ÉCONOMIE TOTALE ANNUELLE PRÉVUE:

— (15) + 1 405 (16) + — (17) = 1 405 $ (19)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = $\frac{3\,000}{1\,405}$ $\frac{(18)}{(19)}$ = 2,1 ans

Transmission thermique — murs
Feuille de travail 18-2
Page 1 de 2

Entreprise: EXEMPLE No 4 Date: JANVIER /86

Endroit: RÉNOVATION Par: MBE

EXIGENCES NOMINALES

Température intérieure (T_2) 20 °C (1)

Température extérieur (T_1) -26 °C (2)

(1) − (2) = 20 − (-26) = 46 °C (3)

Degrés-jours sous 18°C 4 966 (4)
(À partir du C.N.B.)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz ---------- ($/m³) _____ (5)

Mazout ---------- ($/L) 0,45 (6)

Élictricité ---------- ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte des charged de pointe)

CHARPENTE MURALE «EXISTANTE»

RSI = 1,063

$U = \frac{1}{RSI}$ = 0,94 (8)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CONDITIONS «EXISTANTES»

VOIR FIGURE 8

CHARPENTE MURALE «PROPOSÉE»

RSI = 2,103

$U = \frac{1}{RSI}$ = 0,48 (9)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CHANGEMENTS «PROPOSÉS»

VOIR FIGURE 9

Pour connaître le facteur RSI de différents matériaux de construction, se référer à la section «Matériaux et assemblages» et à la table 1 de l'annexe B.

Transmission thermique — murs

Feuille de travail 18-2
Page 2 de 2

Entreprise: EXEMPLE NO. 4 Date: JANVIER /86

Endroit: RÉNOVATION Par: MBE

Surface murale nette (surface murale − surface de toutes les portes et fenêtres)

Longueur x largeur = _____ x _____ = _____ m²

Fenêtres (châssis) (−) _____ m²

Portes (cadre) (−) _____ m²

Surface murale nette = 100 m² (10)

Perte de chaleur (existante) = 0,94 (8) x 100 (10) x 46 (3)
= 4 324 W (11)

Perte de chaleur (proposée) = 0,48 (9) x 100 (10) x 46 (3)
= 2 209 W (12)

Perte de chaleur (économisée) = 4 324 (11) − 2 209 (12) = 2 116 W (13)
= 2 116 / 1 000 (13) = 2,12 kW (14)

ÉCONOMIE D'ÉNERGIE ANNUELLE PRÉVUE:

Gaz:

= 2,95 x _____ (5) x _____ (14) x _____ (4) = _____ $ (15)
_____ (3)

Mazout:

= 2,73 x 0,45 (6) x 2,12 (14) x 4 966 (4) = 281 $ (16)
46 (3) PAR 100 m²

Électricité:

= 16,8 x _____ (7) x _____ (14) x _____ (4) = _____ $ (17)
_____ (3)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: 1 600 $ (18)
PAR 100 m²

ÉCONOMIE TOTALE ANNUELLE PRÉVUE: PAR 100 m²

— (15) + 281 (16) + — (17) = 281 $ (19)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = 1 600 (18) / 281 (19) = 5,7 ans

Transmission thermique — toits
Feuille de travail 18-3
Page 1 de 3

Entreprise: EXEMPLE NO. 5 Date: JANVIER /86

Endroit: RÉNOVATION Par: M B E

EXIGENCES NOMINALES:

Température intérieure (T_2) 20 °C (1)

Température extérieure (T_1) -26 °C (2)

(1) − (2) = 20 − (-26) = 46 °C (3)

Degrés-jours sous 18°C 4940 (4)
(À partir du C.N.B.)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz _____ ($/m³) _____ (5)

Mazout _____ ($/L) 0,45 (6)

Électricité ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte des charges de pointe)

STRUCTURE DU TOIT «EXISTANT» — TYPE A

RSI = 1,279

U = $\frac{1}{RSI}$ = 0,782 (8A)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CONDITIONS «EXISTANTES»

SURFACE 1 400 m² (9)

PELLICULE D'AIR EXTÉRIEURE	0,030
TOITURE MULTICOUCHE	0,026
CARTON FIBRE 12MM	0,233
TABLIER EN BOIS PREFABRIQUÉ DE 100MM	0,870
PELLICULE D'AIR INTÉRIEURE	0,120
	1,279

STRUCTURE DU TOIT «EXISTANT» — TYPE B

RSI = 0,585

U = $\frac{1}{RSI}$ = 1,709 (8B)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CHANGEMENTS «PROPOSÉS»

SURFACE 570 m² (10)

PELLICULE D'AIR EXTÉRIEURE	0,030
SOLINS MÉTALLIQUES	NÉGL.
BOIS 47MM	0,435
PELLICULE D'AIR INTÉRIEURE	0,120
	0,585

Pour connaître le facteur RSI de différents matériaux de construction, se référer à la section «Matériaux et assemblages» et à la table 1 de l'annexe B.

Transmission thermique — toits
Feuille de travail 18-3
Page 2 de 3

Entreprise: EXEMPLE No 5 Date: JANVIER /86

Endroit: RÉNOVATION By: MBE

STRUCTURE DU TOIT «PROPOSÉ» — TYPE A

RSI = 2,539

U = $\frac{1}{\text{RSI}}$ = 0,394 (8A)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CONDITIONS «PROPOSÉS

AJOUTTER 30mm D'ISOLANT EN URÉTHANE (RSI = 1,26)
1,26 + 1,279 = 2,539

STRUCTURE DU TOIT «PROPOSÉ» — TYPE B

RSI = 1,845

U = $\frac{1}{\text{RSI}}$ = 0,542 (8B)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CHANGEMENTS «PROPOSÉS

AJOUTTER 30mm D'ISOLANT EN URÉTHANE (RSI = 1,26)
1,26 + 0,585 = 1,845

ÉCONOMIES D'ÉNERGIE — TYPE A

Perte de chaleur = 0,782 (8A) x 1 400 (9) x 46 (3)
(existante) = 51 455 W (12)

Perte de chaleur = 0,394 (11A) x 1 400 (9) x 46 (3)
(proposée) = 25 373 W (13)

Perte de chaleur = 51 455 (12) − 25 373 (13) x 26 082 (14)
(économisée) = $\frac{26\,082}{1\,000}$ (14) = 26,08 kW

ÉCONOMIES D'ÉNERGIE — TYPE B

Perte de chaleur = 1,709 (8B) x 570 (10) x 46 (3)
(existante) = 44 800 W (11)

Perte de chaleur = 0,542 (11B) x 570 (10) x 46 (3)
(proposée) = 14 211 W (17)

Perte de chaleur = 44 800 (16) − 14 211 (17) x 30 589 (18)
(économisée) = $\frac{30\,589}{1\,000}$ (18) = 30,59 kW (19)

ÉCONOMIE D'ÉNERGIE TOTALE = 26,08 (15) + 30,59 (19) = 56,67 (20)

Transmission thermique — toits
Feuille de travail 18-3
Page 3 de 3

Entreprise: EXEMPLE NO 5 Date: JANVIER 186

Endroit: RÉNOVATION By: MBE

ÉCONOMIES ANNUELLES PREVUES

GAZ:

= 2,95 x _____ (5) _____ (20) x _____ (4) = _____ $ (21)
_____ (3)

MAZOUT:

= 2,73 x 0,45 (6) 56,67 (20) x 4 966 (4) = 7 516 $ (22)
46 (3)

ÉLECTRICITÉ:

= 16,8 x _____ (7) _____ (20) x _____ (4) = _____ $ (23)
_____ (3)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: 39 400 $ (24)

ÉCONOMIE TOTALE ANNUELLE PRÉVUE:

— (21) + 7 516 (22) — (23) = 7 516 $ (25)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = 39 400 (24) = 5,2 years
7 516 (25)

ANNEXES

A Glossaire
B Tables
C Conversions courantes
D Feuilles de travail
E Bibliographie

GLOSSAIRE

Abri de rampe – Panneaux qui enveloppent un véhicule pour sceller l'ouverture d'une rampe de chargement.

Analyse au passage – Inspection visuelle de l'installation pour observer comment l'énergie est employée et déceler les cas où elle est gaspillée.

Analyse de diagnostic – Analyse d'une possibilité d'économiser de l'énergie comportant l'évaluation du fonctionnement du processus actuel, l'étude des registres correspondants, le calcul des économies possibles de même que l'estimation de la mise de fonds et des coûts d'exploitation afin de déterminer la rentabilité du projet.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, Georgia, 30329, É-U.

Berme – Monticules de terre placés dans un aménagement paysager destinés à isoler un bâtiment lorsqu'ils sont construits contre le mur de fondation de celui-ci.

Calfeutrage – Produit d'étanchéité semi-liquide que l'on applique sur les joints et les espaces entre les éléments de construction.

Condensation – Procédé selon lequel la vapeur d'eau contenue dans l'air se transforme en liquide lorsque l'air est refroidie.

Conduction – Forme de transmission de chaleur où l'énergie thermique (chaleur) est transportée de la surface chaude vers la surface plus froide d'un matériau. Le débit varie selon les propriétés de ce dernier et la différence de température. Voir Conductivité thermique et Convection.

Conductivité thermique (k) – Mesure de l'énergie thermique transmise à travers un matériau homogène par unité d'épaisseur. Les unités sont exprimées en $W/(m^2 \cdot °C)$.

Convection – Forme de transmission de chaleur (énergie thermique) provenant du mélange et de la diffusion d'un fluide chaud et d'un fluide froid.

Coupe d'essai – Petite ouverture effectuée dans l'enveloppe d'un bâtiment pour en déterminer la composition.

Coupe-froid – Bande isolante souple fixée sur le cadre d'une porte ou d'une fenêtre et sur laquelle le cadre vient s'appuyer.

Coupe-vapeur – Membrane imperméable à la vapeur d'eau, comme le polyéthylène ou une feuille métallique, installée en continu dans l'enveloppe du bâtiment sur le côté chaud de l'isolant pour empêcher l'infiltration de vapeur dans l'isolant où elle pourrait se condenser.

Coupe-vent – Papier de construction, revêtement en contreplaqué, mur de charpente, coupe-vapeur ou construction à mur sec destinés à s'opposer au déplacement de l'air entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment.

Degré-jour – Chauffage – Mesure de corrélation entre la température extérieure et l'énergie requise pour le chauffage, basée sur la supposition qu'il y a besoin en chauffage lorsque la température quotidienne moyenne est inférieure à 18°C. On obtient ainsi un degré-jour de chauffage lorsqu'une température moyenne de 17°C se maintient pendant 24 heures. On accumule les degrés-jours pour comparer l'influence des conditions atmosphériques sur l'utilisation de l'énergie pendant une période déterminée.

Écran pare-pluie – Construction dans laquelle l'eau s'infiltre à travers le parement extérieur et ruisselle sur une membrane hydrofuge installée dans la cavité murale. L'eau s'écoule ensuite à travers les trous d'évacuation au-dessus du solin du mur pour garder ainsi le mur intérieur sec.

Effet de cheminée – Effet qui survient dans un édifice en hauteur lorsque l'air chaud monte graduellement vers le haut où se crée une pression positive alors qu'une pression négative correspondante survient aux niveaux inférieurs. Ces conditions peuvent être inversées l'été lorsque la température extérieure est supérieure à la température ambiante. L'effet de cheminée entraîne des infiltrations et des exfiltrations.

Enveloppe du bâtiment – Structure comprenant le toit, les murs, les fenêtres, les portes et les planchers.

Exfiltration – Fuite d'air incontrôlable vers l'extérieur d'un bâtiment à travers les fissures et les ouvertures des fenêtres et des portes par exemple. L'exfiltration est causée par la pression du vent et/ou la différence de densité de l'air intérieur et extérieur.

Fenêtre isothermique – Assemblage scellé en atelier constitué de carreaux de fenêtre vitrés doubles ou triples.

Ferme-porte – Dispositif pneumatique qui ferme une porte doucement et complètement.

Fourrure – Pièce servant à remplir un vide, à masquer un joint, à rattraper un jeu important entre deux pièces mécaniques.

Gradient de température – Taux de changement de température à travers un matériau de construction selon la résistance thermique.

HVAC – Conditionnement de l'air.

Humidité relative – Mesure de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air en pourcentage de vapeur que peut contenir l'air à une température donnée. Ainsi, un R.H. de 30% indique que l'air contient 30% de la quantité maximale de vapeur d'eau. À mesure que la température de l'air est abaissée avec une quantité constante de vapeur d'eau, le R.H. augmente jusqu'à ce qu'il atteigne 100% après quoi survient la condensation. La température à laquelle l'air atteint 100% d'humidité est appelée point de rosée.

Infiltration – Fuite d'air incontrôlable vers l'intérieur d'un bâtiment à travers les fissures des éléments de construction et autour des fenêtres et des portes. L'infiltration est causée par la pression du vent et/ou la différence de densité de l'air intérieur et extérieur.

Isolant – Matériau de faible conductivité thermique utilisé pour réduire la transmission thermique à travers un élément de construction.

Isolant F.V. – Isolant en fibre de verre.

Joint de construction – Joint flexible appliqué entre les sections d'un matériau, comme le béton ou la brique, pour empêcher les fissures et l'infiltration de l'air.

Mur-rideau – Assemblage dans lequel de grandes feuilles de verre sont accrochées et tenues en place par des menaux (montants) métalliques. Couramment utilisé comme assemblage continu sur la surface extérieure des édifices en hauteur.

Orientation – Emplacement d'un bâtiment en fonction des points cardinaux.

Pellicule réfléchissante – Couche appliquée au verre en atelier ou sur une fenêtre déjà existante réduisant le gain solaire en modifiant les caractéristiques de réflexion et d'absorption de chaleur.

Période de rentabilité – Temps que peut prendre une amélioration pour devenir rentable en fonction des économies d'énergie annuelles générées.

Persiennes – Ouverture à fentes recouvrant une ouverture ou une fenêtre et permettant le passage de la lumière ou de l'air.

Plan tel que construit – Plan effectué après la construction d'un bâtiment pour enregistrer les derniers détails de la construction.

Point de rosée – Température à laquelle la vapeur d'eau se condense pour une humidité relative donnée (RH); une diminution du facteur RH entraîne un abaissement de la température du point de rosée.

Rayonnement – Transmission de chaleur entraînée par des ondes électromagnétiques d'une surface chaude vers une surface froide. Le rayonnement est transmis directement et n'est pas affecté par la température froide de l'air environnant.

Résistance thermique (RSI) – Nombre indiquant la valeur isolante relative ou la résistance à la transmission thermique d'un matériau ou d'un assemblage. La résistance thermique s'exprime en $(m^2 \cdot °C)/W$
Note: RSI = 1/U

Thermographie, analyse thermographique – Procédé photographique qui permet de déterminer les surfaces de pertes de chaleur et de fuites au niveau du toit ou des murs en donnant une image caractérisant l'émissivité des corps dans l'infrarouge.

Topographie – Représentation graphique du relief (côtes, monticules, ravins, vallées et montagnes).

Transmission thermique (U) – Mesure de l'énergie thermique transmise par un matériau ou un assemblage, y compris les pellicules frontières. La transmission thermique s'exprime en $W/(m^2 \cdot °C)$.

Vent dominant – Direction habituelle du vent.

Vestibule – Petite pièce à l'entrée d'un bâtiment par laquelle les occupants doivent passer pour avoir accès à ce dernier. Le vestibule doit être assez grand pour comprendre une série de portes pouvant être fermées avant que l'autre série ne soit ouverte.

FACTEURS DE RÉSISTANCE THERMIQUE (RSI) DE DIVERS MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ($m^2 \cdot °C/W$)
TABLE 1

Description	Par mm d'épaisseur	Pour l'épaisseur donnée
MATÉRIAUX DE REVÈTEMENT		
Contreplaqué en bois tendre	0,0087	
Panneau de particules	0,0087	
Carton-fibre isolant	0,0165	
Placoplâtre	0,0062	
Papier de revêtement		0,011
Coupe-vapeur en Papier Kraft enduit de bitume		Négligeable
Coupe-vapeur en polyéthylène		Négligeable
MATÉRIAUX DE PAREMENT		
Carton-fibre	0,0107	
Bois tendre		
– Parement à mi-bois – 18 x 184 mm		0,139
– Planche à recouvrement imbriqué – 12 x 184 mm – chevauchant		0.143
– Planche à recouvrement imbriqué – 19 x 235 mm – chevauchant		8,185
– Contreplaqué – 9mm – chevauchant		0,103
Brique		
– Argile ou schiste – 100 mm		0,074
– Béton et sable/chaux – 100 mm		0,053
Stuc	0,0014	
Parement métallique		
– Profil de planches à gorge horizontales		0,123
– Profil de planches à gorge horizontales avec fond de clouage		0,246
– Profil de rainures en V verticales		0,123
– Profil de panneaux verticaux et de tasseux		Négligeable
MATÉRIAUX DE TOITURE		
Rouleaux de papier bituminés		0,026
Bardeaux d'asphalte		0,078
Toiture multicouche		0,058
Bardeaux de bois		0,165
Pierre broyée – non séchée	0,0006	
ISOLANTS		
Laine minérale et fibre de verre	0,0208	
Fibre de cellulose	0,0253	
Vermiculite	0,0144	
Copeaux de bois	0,0169	
Amiante vaporisée	0,0201	

FACTEURS DE RÉSISTANCE THERMIQUE (RSI) DE DIVERS MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ($m^2 \cdot °C/W$)
TABLE 1

Description	Par mm d'épaisseur	Pour l'épaisseur donnée
Polystyrène conforme à la norme CGSB 41-GP-14a (1972) – type 1	0,0257	
– type 2	0,0277	
– type 3	0,0298	
– type 4	0,0347	
Fibre de verre rigide à toiture	0,0277	
Liège naturel	0,0257	
Panneau rigide en uréthane ou en isocynuarate	0,0420	
Panneau de granulat minéral	0,0182	
Panneau de paille comprimée	0,0139	
Carton-fibre	0,0194	
MATÉRIAUX DE CHARPENTE		
Billes et bois d'oeuvre en cèdre	0,0092	
Autres billes et bois d'oeuvre en bois tendre	0,0087	
Béton – 2400 kg/m^3	0,00045	
– 1700 kg/m^3	0,0013	
– 480 kg/m^3	0,0069	
Bloc de béton – 3 âmes ovales		
Granulat de sable et de gravier – 100 mm		0,125
(ou granulat de cendre) – 200 mm		0,195
– 300 mm		0,225
Granulat léger – 100 mm		0,264
– 200 mm		0,352
– 300 mm		0,400
MATÉRIAUX DE FINITION INTÉRIEURE		
Placoplâtre, latte en placoplâtre	0,0062	
Plâtre de gypse – granulat de sable	0,0014	
Plâtre de gypse – granulat léger	0,0044	
Contreplaqué	0,0087	
Carton-fibre comprimé	0,0050	
Carton-fibre isolant	0,0165	
Panneau de particules	0,0165	
Tapis avec sous-tapis de fibre		0,366
Tapis avec sous-tapis de caoutchouc		0,226
Couvre-sol élastique		0,014
Terrazzo – 25 mm		0,014
Plancher en bois dur – 9,5 mm		0,060
– 19 mm		0,060
Carrelage en fibre de bois – 13 mm		0,209

FACTEURS DE RÉSISTANCE THERMIQUE (RSI) DE DIVERS MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ($m^2 \cdot °C/W$)
TABLE 1

Description	Par mm d'épaisseur	Pour l'épaisseur donnée
PELLICULES D'AIR		
Air stationnaire – Surface horizontale		
- Transmission thermique vers le haut		0,105
- Transmission thermique vers le bas		0,162
Air stationnaire – Surface verticale		
- Transmission thermique horizontale		0,120
Air en mouvement – toute position		0,030
ESPACES D'AIR – PARÉS AVEC DES MATÉRIAUX NON RÉFLÉCHISSANTS (12 mm – dimensions minimales)		
Espace horizontal		
- Transmission thermique vers le haut		0,150
- Transmission thermique vers le bas		0,180
Espace vertical		
– Transmission thermique horizontal		0,171
Espaces d'air de moins de 12 mm de dimensions minimales		Négligeable
Espace horizontal – paré de 1 côté		
- Transmission thermique vers le haut		0,324
- Transmission thermique vers le bas		0,980
Espace horizontal – paré de 2 côtés		
- Transmission thermique vers le haut		0,332
- Transmission thermique vers le bas		1,034
Espace vertical – paré de 1 coté		
- Transmission thermique horizontal		0,465
Espace vertical – paré de 2 côtés		
- Transmission thermique horizontal		0,480
Espaces d'air de moins de 12 mm		Négligeable
VERRE		
– 6 mm d'épaisseur		0,020

DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES POUR DIVERS ENDROITS AU CANADA
TABLE 2

VALEURS DE CALCUL DES LOCALITÉS CANADIENNES DÉSIGNÉES (Suite)

Province et localité	Température de calcul				Degrés-jours au-dessous de 18°C	Préc. de 15 min., mm	Précip. d'un jour, mm	Précip. ann. totales, mm	Charge de neige au sol, kPa	Pressions de vent horaires			Données sismiques		
	Janvier		Juillet 2½%												
	2½%, °C	1%, °C	sec, °C	mouil., °C						1/10, kPa	1/30, kPa	1/100, kPa	Z_a	Z_v	Rapport de vitesse, v, de la zone
Gravenhurst	-26	-28	29	22	4800	25	114	1020	3.1	0.19	0.25	0.33	1	1	0.05
Grimsby	-16	-18	30	23	3618	23	123	876	1.7	0.36	0.43	0.50	1	0	0.05
Guelph	-19	-21	29	23	4304	28	103	833	2.6	0.25	0.30	0.36	1	0	0.05
Gutherie	-24	-26	29	22	4520	28	127	870	2.7	0.21	0.29	0.39	1	1	0.05
Hagersville	-16	-18	30	23	3987	25	283	842	1.7	0.33	0.39	0.46	1	0	0.05
Haileybury	-32	-35	30	21	5427	23	65	849	3.2	0.32	0.39	0.49	2	1	0.05
Haliburton	-27	-29	29	22	4993	25	103	971	3.5	0.19	0.25	0.31	1	1	0.05
Hamilton	-17	-19	31	23	3827	23	117	799	1.6	0.36	0.43	0.50	1	0	0.05
Hanover	-19	-21	30	22	4340	28	76	877	3.6	0.34	0.43	0.54	1	0	0.05
Hastings	-23	-26	30	23	4400	28	89	790	2.7	0.29	0.37	0.47	1	1	0.05
Hawkesbury	-25	-27	30	23	4800	23	89	961	3.0	0.31	0.37	0.45	4	2	0.10
Hearst	-34	-36	28	21	6500	20	63	846	2.9	0.20	0.25	0.32	0	0	0.00
Honey Harbour	-24	-26	29	22	4400	23	127	950	3.8	0.25	0.34	0.45	1	1	0.05
Hornepayne	-37	-40	28	21	6545	20	83	734	2.7	0.19	0.25	0.31	0	0	0.00
Huntsville	-26	-29	29	22	4780	25	104	971	4.0	0.19	0.25	0.33	1	1	0.05
Ingersoll	-18	-20	30	23	4000	28	89	890	2.0	0.33	0.43	0.54	0	0	0.00
Iroquois Falls	-33	-36	29	21	6200	20	63	780	3.4	0.30	0.37	0.45	1	0	0.05
Jarvis	-16	-18	30	23	3875	28	102	850	1.7	0.33	0.39	0.47	1	0	0.05
Jellicoe	-36	-39	28	21	6600	20	76	710	3.5	0.21	0.25	0.29	0	0	0.00
Kapuskasing	-33	-35	28	21	6438	20	80	858	2.9	0.23	0.28	0.34	0	0	0.00
Kemptville	-25	-27	30	23	4622	25	73	867	2.7	0.30	0.37	0.46	4	2	0.10
Kenora	-33	-36	28	22	5938	25	128	623	3.1	0.20	0.24	0.28	0	0	0.00
Killaloe	-28	-31	30	22	5082	23	62	674	2.8	0.24	0.29	0.36	3	1	0.05
Kincardine	-17	-19	28	22	4100	23	76	890	3.7	0.40	0.50	0.62	0	0	0.00
Kingston	-22	-24	27	23	4251	23	119	870	2.2	0.35	0.43	0.52	2	1	0.05
Kinmount	-26	-28	29	22	4800	25	102	950	3.1	0.20	0.26	0.34	1	1	0.05
Kirkland Lake	-33	-36	30	21	6113	20	97	856	3.3	0.29	0.37	0.46	1	1	0.05
Kitchener	-19	-21	29	23	4146	28	175	897	2.9	0.27	0.34	0.42	1	0	0.05
Lakefield	-24	-26	30	23	4550	28	89	770	2.9	0.27	0.34	0.43	1	1	0.05
Lansdowne House	-39	-41	28	21	7199	18	78	666	3.2	0.24	0.29	0.35	0	0	0.00
Leamington	-15	-17	31	24	3556	28	106	816	1.1	0.35	0.43	0.52	0	0	0.00
Lindsay	-24	-26	30	23	4513	25	97	856	2.7	0.26	0.34	0.43	1	1	0.05
Lions Head	-19	-21	27	22	4490	25	76	890	3.3	0.33	0.43	0.54	1	0	0.00
Listowel	-19	-21	29	23	4811	30	144	951	3.8	0.34	0.43	0.53	1	0	0.05
London	-18	-20	30	23	4133	28	83	909	1.9	0.36	0.48	0.61	0	0	0.00
Lucan	-17	-19	30	23	4150	25	118	927	2.0	0.39	0.50	0.63	0	0	0.00
Maitland	-23	-25	29	23	4200	25	76	960	2.4	0.32	0.39	0.49	3	1	0.05
Markdale	-20	-22	29	22	4700	28	76	1030	4.0	0.29	0.37	0.47	1	0	0.05
Martin	-36	-39	29	22	6248	25	114	731	3.2	0.21	0.25	0.29	0	0	0.00
Matheson	-33	-36	29	21	6250	20	76	830	3.4	0.30	0.37	0.46	1	1	0.05
Mattawa	-29	-31	30	22	5300	23	89	830	2.7	0.24	0.29	0.35	3	1	0.05
Midland	-23	-26	29	22	4257	25	96	1035	3.8	0.25	0.34	0.45	1	1	0.05
Milton	-18	-20	30	23	4138	25	127	875	2.2	0.32	0.39	0.48	1	0	0.05
Milverton	-19	-21	29	23	4550	30	76	980	3.4	0.31	0.39	0.49	1	0	0.05
Minden	-26	-29	29	22	4967	25	94	971	3.2	0.19	0.25	0.31	1	1	0.05
Mississauga	-18	-20	30	23	4000	25	140	760	1.8	0.37	0.45	0.55	1	0	0.05
Mitchell	-18	-20	29	23	4519	28	72	840	3.0	0.35	0.45	0.57	0	0	0.00
Moosonee	-36	-38	28	21	7011	18	63	728	2.8	0.19	0.24	0.29	0	0	0.00
Morrisburg	-23	-25	30	23	4550	25	114	928	2.5	0.30	0.37	0.46	4	2	0.10
Mount Forest	-21	-23	29	22	4694	30	84	964	4.0	0.29	0.37	0.47	1	0	0.05
Muskoka Airport	-26	-28	29	22	4911	25	115	1009	3.1	0.19	0.25	0.33	1	1	0.05
Nakina	-35	-37	28	21	6816	20	70	811	3.1	0.20	0.24	0.28	0	0	0.00
Napanee	-22	-24	28	23	4150	23	89	870	2.2	0.32	0.39	0.48	2	1	0.05
Newcastle	-20	-22	30	23	4200	23	76	810	2.1	0.46	0.55	0.65	1	1	0.05
New Liskeard	-32	-35	30	21	5664	23	82	749	3.2	0.31	0.39	0.49	2	1	0.05
Newmarket	-22	-24	30	23	4395	28	102	797	2.4	0.26	0.34	0.44	1	1	0.05
Niagara Falls	-16	-18	30	23	3662	23	95	942	2.0	0.33	0.39	0.47	2	0	0.05
North Bay	-28	-30	28	21	4990	28	96	930	2.7	0.26	0.31	0.37	2	1	0.05
Norwood	-24	-26	30	23	4531	28	89	785	2.8	0.29	0.37	0.47	1	1	0.05
Oakville	-18	-20	30	23	3915	23	74	799	1.7	0.37	0.45	0.54	1	0	0.05
Orangeville	-21	-23	29	23	4775	30	101	789	3.6	0.25	0.32	0.41	1	0	0.05
Orillia	-25	-27	29	22	4690	25	147	907	2.5	0.19	0.26	0.35	1	1	0.05
Oshawa	-19	-21	30	23	3968	23	76	864	2.1	0.43	0.52	0.64	1	1	0.05
Ottawa	-25	-27	30	23	4634	23	93	846	2.9	0.30	0.37	0.46	4	2	0.10
Owen Sound	-19	-21	29	22	4236	28	138	1024	3.8	0.33	0.43	0.53	1	0	0.05
Pagwa River	-34	-36	28	21	6595	20	80	902	3.2	0.19	0.25	0.31	0	0	0.00
Paris	-17	-19	30	23	4025	23	89	860	2.2	0.31	0.37	0.45	1	0	0.05
Parkhill	-16	-18	31	23	3900	23	89	860	1.9	0.40	0.50	0.61	0	0	0.00
Parry Sound	-24	-26	28	21	4730	23	123	1094	3.6	0.24	0.34	0.46	1		0.05
Pembroke	-29	-31	30	22	4873	23	103	770	2.6	0.22	0.26	0.32	4	4	0.10
Colonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Note 1. Ceci est une feuille de données type tirée des «Données climatiques» du Code national du bâtiment. Se référer au code pour les autres endroits.

2. N'importe quelle ville du Canada peut être substituée à Minden en Ontario dans les exemples concrets.

INFILTRATION À TRAVERS LES FENÊTRES ET LES PORTES
MÉTHODE DES FISSURES – ÉTÉ – HIVER
TABLE 3

FENÊTRES DOUBLES À GUILLOTINE – DÉVERROUILLÉES CÔTÉ AU VENT – NOTE: C-FROID SIGNIFIE COUPE-FROID

TYPE DE FENÊTRE À GUILLOTINE

L/s PAR MÈTRE LINÉAIRE DE FISSURE

VITESSE DU VENT m/s

	2,24		4,47		6,70		8,94		11,17		13,41	
	Sans c-froid	Avec c-froid	Sans c-froid	Avec c-froid	Sans c-froid	Avec c-froid	Sans c-froid	Avec c-froid	Sans c-froid	Avec c-froid	Sans c-froid	Avec c-froid
Châssis en bois												
Fenêtre moyenne	0,19	0,11	0,54	0,34	1,01	0,62	1,52	0,93	2,06	1,27	2,68	1,63
Fenêtre mal ajustée	0,70	0,15	1,78	0,50	2,86	0,88	4,03	1,32	0,01	1,83	6,50	0,37
Mal ajustée – avec contre-châssis	0,36	0,08	0,88	0,25	1,44	0,45	2,01	0,67	2,48	0,91	3,25	1,18
Châssis métallique	0,51	0,15	1,21	0,50	1,90	0,82	2,68	1,19	3,56	1,55	4,34	1,97

FENÊTRES À BATTANTS CÔTE AU VENT

TYPE DE FENÊTRE À BATTANTS ET LARGEUR DE FISSURE TYPE (mm)

L/s PAR MÈTRE LINÉAIRE DE FISSURE

VITESSE DU VENT m/s

		2,24	4,47	6,70	8,94	11,17	13,41
Châssis en fer laminé							
Pivotant industriel	Fissure 1,6	1,35	2,79	4,49	6,35	7,90	9,60
Chassis en profilé	Fissure 0,8	0,39	0,93	1,60	2,21	2,88	3,56
Chassis en profilé	Fissure 1,2	0,51	1,35	2,28	2,99	3,87	4,65
À battants résidentiel	Fissure 0,4	0,15	0,46	0,85	1,21	1,5	51,90
À battants résidentiel	Fissure 0,8	0,36	0,82	1,35	1,97	2,59	3,25
Profilé lourd de chassis	Fissure 0,4	0,08	0,26	0,46	0,67	0,90	1,24
Profilé lourd de chassis	Fissure 0,8	0,20	0,62	0,98	1,39	1,86	2,37
Métal creux – pivotant vertical		0,77	2,26	3,72	4,80	5,73	6,19

PORTES CÔTÉ AU VENT

TYPE DE PORTE ET LARGEUR DE FISSURE (mm)

L/s PAR MÈTRE LINÉAIRE DE FISSURE

VITESSE DU VENT m/s

		2,24	4,47	6,70	8,94	11,17	13,41
Porte en vitre-Herculite							
Bonne installation	Fissure 3,2	5,0	9,9	14,9	20,1	24,8	29,4
Installation moyenne	Fissure 4,8	7,4	15,5	21,7	31,0	37,2	44,9
Mauvaise installation	Fissure 6,4	9,9	20,1	29,4	40,3	40,3	58,8
Bois ordinaire ou métal							
Bien ajusté avec coupe-froid		0,70	0,93	1,4	2,0	2,6	3,3
Bien ajusté sans coupe-froid		1,4	1,9	2,8	4,0	5,1	6,5
Mal ajusté sans coupe-froid		1,4	3,6	5,7	8,1	10,2	13,0
Porte d'usine	Fissure 3,2	5,0	9,9	14,9	20,1	24,8	29,4

CONVERSIONS COURANTES

1 baril (35 gal imp.) (42 gal U.S.)	= 159,1 litres
1 gallon (imp.)	= 1,20094 gallon (U.S.)
1 cheval vapeur (chaudière)	= 9809,6 watts
1 cheval vapeur	= 2545 Btu/heure
1 cheval vapeur	= 0,746 kilowatts
1 joule	= 1 N-m
Kelvin	= (°C + 273,15)
1 kilowatt-heure	= 3600 kilojoules
1 Newton	= 1 Kg-m/s^2
1 thermie	= 10^5 Btu
1 tonne (réfrigérant)	= 12002,84 Btu/heure
1 tonne (réfrigérant)	= 3516,8 watts
1 watt	= 1 joule/seconde
degré Rankine	= (°F + 459,67)

Cubes

1 v^3 = 27 pi^3

1 pi^3 = 1728 po^3

1 cm^3 = 1000 mm^3

1 m^3 = 10^6 cm^3

1 m^3 = 1000 L

Carrés

1 v^2 = 9 pi^2

1 pi^2 = 144 po^2

1 cm^2 = 100 mm^2

1 m^2 = 10000 cm^2

PRÉFIXES SI

Préfixe	Symbole	Valeur numérique	Exposant
téra	T	1 000 000 000 000	10^{12}
giga	G	1 000 000 000	10^9
méga	M	1 000 000	10^6
kilo	k	1 000	10^3
hecto	h	100	10^2
déca	da	10	10^1
déci	d	0,1	10^{-1}
centi	c	0,01	10^{-2}
milli	m	0,001	10^{-3}
micro	u	0,000 001	10^{-6}
nano	n	0,000 000 001	10^{-9}
pico	p	0,000 000 000 001	10^{-12}

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS MÉTRIQUES EN UNITÉS IMPÉRIALES

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
ampère/centimètre carré	A/cm^2	ampère/pouce carré	A/po^2	6,452
degré Celsius	°C	degré Fahrenheit	°F	(°C × 9/5) + 32
centimètre	cm	pouce	po	0,3937
centimètre cube	cm^3	pouce cube	po^3	0,06102
mètre cube	m^3	pied cube	pi^3	35,314
gramme	g	once	oz	0,03527
gramme	g	livre	lb	0,0022
gramme/litre	g/L	livre/pied cube	lb/pi^3	0,06243
joule	J	Btu	Btu	$9,480 \times 10^{-4}$
joule	J	pied-livre	pi-lb	0,7376
joule	J	cheval vapeur-heure	cv-h	$3,73 \times 10^{-7}$
joule/mètre, (Newton)	J/m, N	livre	lb	0,2248
kilogramme	kg	livre	lb	2,205
kilogramme	kg	tonne (longue)	tonne	$9,842 \times 10^{-4}$
kilogramme	kg	tonne (courte)	tn	$1,102 \times 10^{-3}$
kilomètre	km	mille	mille	0,6214
kilopascal	kPa	atmosphère	atm	$9,87 \times 10^{-3}$
kilopascal	kPa	pouce de mercure (32°F)	po de Hg	0,2953
kilopascal	kPa	pouce d'eau (4°C)	po d'H_2O	4,0147
kilopascal	kPa	livre/pouce carré	lb/po^2	0,1450
kilowatt	kW	pied-livre/seconde	pi-lb/s	737,6
kilowatt	kW	cheval vapeur	cv	1,341
kilowatt-heure	kWh	Btu	Btu	3413
litre	L	pied cube	pi^3	0,03531
litre	L	gallon (imp.)	gal (imp.)	0,21998
litre	L	gallon (U.S.)	gal (U.S.)	0,2642
litre/seconde	L/s	pied cube/minute	pi^3/min	2,1186
lumen/mètre carré	lm/m^2	lumen par pied carré	lm/pi^2	0,09290
lux, lumen/mètre carré	lx, lm/m^2	pied bougie	pi-b	0,09290
mètre	m	pied	pi	3,281
mètre	m	verge	yd	1,09361
partie par million	ppm	grain/gallon (imp.)	gr/gal (imp.)	0,07
partie par million	ppm	grain/gallon (U.S.)	gr/gal (U.S.)	0,05842
perméance (métrique)	PERM	perméance (imp.)	perm	0,01748
centimètre carré	cm^2	pouce carré	po^2	0,1550
mètre carré	m^2	pied carré	pi^2	10,764
mètre carré	m^2	verge carré	v^2	1,196
tonne (métrique)	t	livre	lb	2204,6
watt	W	Btu/heure	Btu/h	3,413
watt	W	lumen	lm	668,45

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS IMPÉRIALES EN UNITÉS MÉTRIQUES

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
ampère/po^2	A/po^2	ampère/cm^2	A/cm^2	0,1550
atmosphère	atm	kilopascal	kPa	101,325
British Thermal Unit	Btu	joule	J	1054,8
Btu	Btu	kilogramme-mètre	kg-m	107,56
Btu	Btu	kilowatt-heure	kWh	$2,928 \times 10^{-4}$
Btu/heure	Btu/h	watt	W	0,2931
calorie, gramme	cal ou	g-cal joule	J	4,186
chaîne	chaîne	mètre	m	20,11684
pied cube	pi^3	mètre cube	m^3	0,02832
pied cube	pi^3	litre	L	28,32
pied cube/minute	pi^3/m	litre/seconde	L/s	0,47195
cycle/seconde	c/s	Hertz	Hz	1,00
degré Fahrenheit	°F	degré Celsius	°C	(°F−32)/1,8
pied	pi	mètre	m	0,3048
pied bougie	pi-b	lux, lumen/mètre carré	lx, lm/m^2	10,764
pied lambert	pi-L*	candela/mètre carré	cd/m^2	3,42626
pied-livre	pi-lb	joule	J	1,356
pied-livre	pi-lb	kilogramme-mètre	kg-m	0,1383
pied livre/seconde	pi-lb/s	kilowatt	kW	$1,356 \times 10^{-3}$
gallon (imp.)	gal (imp.)	litre	L	4,546
gallon (U.S.)	gal (U.S.)	litre	L	3,785
grain/gallon (imp.)	gr/gal(imp.)	partie par million	ppm	14,286
grain/gallon (U.S.)	gr/gal(U.S.)	partie par million	ppm	17,118
cheval vapeur	cv	watt	W	745,7
cheval vapeur-heure	cv-h	joule	J	$2,684 \times 10^6$
pouce	po	centimètre	cm	2,540
pouce de mercure (32°F)	po de Hg	kilopascal	kPa	3,386
pouce d'eau (4°C)	po d'H_2O	kilopascal	kPa	0,2491

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS IMPÉRIALES EN UNITÉS MÉTRIQUES (CONT.)

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
lambert	L*	candela/mètre carré	cd/m^2	3,183
lumen/pied carré	lm/pi^2	lumen/mètre carré	lm/m^2	10,76
lumen	lm	watt	W	0,001496
mille	mille	kilomètre	km	1,6093
once	oz	gramme	g	28,35
perm (0°C)	perm	kilogramme par pascal-seconde-mètre carré	$kg/(Pa\text{-}s\text{-}m^2)$ (PERM)	$5,721 \times 10^{-11}$
perm (23°C)	perm	kilogramme par pascal-seconde-mètre carré	$kg/(Pa\text{-}s\text{-}m^2)$ (PERM)	$5,745 \times 10^{-11}$
perm-pouce (0°C)	perm-po	kilogramme par pascal-seconde-mètre	kg/(Pa-s-m)	$1,4532 \times 10^{-12}$
perm-pouce (23°C)	perm-po	kilogramme par pascal-seconde-mètre	kg/(Pa-s-m)	$1,4593 \times 10^{-12}$
chopine (imp.)	chopine	litre	L	0,56826
livre	lb	gramme	g	453,5924
livre	lb	joule/mètre (Newton)	J/m N	4,448
livre	lb	kilogramme	kg	0,4536
livre	lb	tonne (métrique)	t	$4,536 \times 10^{-4}$
livre/pied cube	lb/pi^3	gramme/litre	g/L	16,02
livre/pouce carre	lb/po^2	kilopascal	kPa	6,89476
pinte	pinte	litre	L	1,1365
slug	slug	kilogramme	kg	14,5939
pied carré	pi^2	mètre carré	m^2	0,09290
pouce carré	po^2	centimètre carré	cm^2	6,452
verge carré	v^2	mètre carré	m^2	0,83613
tonne (longue)	ton	kilogramme	kg	1016
tonne (courte)	tn	kilogramme	kg	907,185
verge	v	mètre	m	0,9144

* "L" tel qu'utilisé dans l'éclairement.

Les valeurs typiques qui suivent peuvent servir de facteurs de conversion quand les données réelles manquent. Les équivalents en MJ et en BTU correspondent à la chaleur de combustion. Les chiffres applicables aux hydrocarbures correspondent à la valeur calorifique la plus élevée (poids humide). Certains produits sont de toute évidence des matières premières, mais ont été inclus au tableau pour le rendre plus complet et pour servir de référence. Les facteurs de conversion pour le charbon sont approximatifs puisque la valeur calorifique de ce produit varie selon la mine d'où il a été extrait.

TYPE D'ÉNERGIE	MÉTRIQUE	IMPÉRIAL
CHARBON		
— métallurgique	29 000 mégajoules/tonne	25,0 × 10^6 BTU/tonne
— anthracite	30 000 mégajoules/tonne	25,8 × 10^6 BTU/tonne
— bitumineux	32 100 mégajoules/tonne	27,6 × 10^6 BTU/tonne
— sous-bitumineux	22 100 mégajoules/tonne	19,0 × 10^6 BTU/tonne
— lignite	16 700 mégajoules/tonne	14,4 × 10^6 BTU/tonne
COKE		
— métallurgique	30 200 mégajoules/tonne	26,0 × 10^6 BTU/tonne
— pétrolier		
— brut	23 300 mégajoules/tonne	20,0 × 10^6 BTU/tonne
— calciné	32 600 mégajoules/tonne	28,0 × 10^6 BTU/tonne
POIX	37 200 mégajoules/tonne	32,0 × 10^6 BTU/tonne
PÉTROLE BRUT	38,5 mégajoules/litre	5,8 × 10^6 BTU/baril
MAZOUT N° 2	38,68 mégajoules/litre	5,88 × 10^6 BTU/baril 0,168 × 10^6 BTU/GI
PÉTROLE N° 4	40,1 mégajoules/litre	6,04 × 10^6 BTU/baril 0,173 × 10^6 BTU/GI
PÉTROLE N° 6 (MAZOUT LOURD C)		
— 2,5 % soufre	42,3 mégajoules/litre	6,38 × 10^6 BTU/baril 0,182 × 10^6 BTU/GI
— 1,0 % soufre	40,5 mégajoules/litre	6,11 × 10^6 BTU/baril 0,174 × 10^6 BTU/GI
— 0,5 % soufre	40,2 mégajoules/litre	6,05 × 10^6 BTU/baril 0,173 × 10^6 BTU/GI
KÉROSÈNE	37,68 mégajoules/litre	0,167 × 10^6 BTU/GI
DIESEL	38,68 mégajoules/litre	0,172 × 10^6 BTU/GI
GAZOLINE	36,2 mégajoules/litre	0,156 × 10^6 BTU/GI
GAZ NATUREL	37,2 mégajoules/m^3	1,00 × 10^6 BTU/M pi^3
PROPANE	50,3 mégajoules/kg 26,6 mégajoules/litre	0,02165 × 10^6 BTU/lb 0,1145 × 10^6 BTU/GI
ÉLECTRICITÉ	3,6 mégajoules/kWh	0,003413 × 10^6 BTU/kWh

Infiltration — portes et fenêtres
Feuille de travail 18-1
Page 1 de 3

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

EXIGENCES NOMINALES:

Température intérieure (T_2) _____ °C (1)

Température extérieure (T_1)_____ °C (2)

(1) − (2) = _____−_____=_____ °C (3)

Degrés-jours sous 18°C _____ (4)
(À partir du C.N.B.)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz _____ ($/m^3$) _____ (5)

Mazout _____ ($/L) _____ (6)

Électricité ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte des charges de pointe)

PORTES ET FENÊTRES EXISTANTES:

(Donner les dimensions, le type, l'état, la longueur et la largeur des fissures et la fréquence d'ouverture.)

Fenêtres existantes −

Type 1:

Type 2:

Type 3:

Portes existantes -

Type 1:

Type 2:

Type 3:

Infiltration — portes et fenêtres
Feuille de travail 18-1
Page 2 de 3

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

INFILTRATION EXISTANTE SELON LA MÉTHODE DES «FISSURES» (Table 3)

		Longeur (m)		Taux d'infiltration [L/(s·m)]		Infiltration totale (L/s)
Portes:	Type 1	_____	x	_____	=	_____
	Type 2	_____	x	_____	=	_____
	Type 3	_____	x	_____	=	_____
Fenêtres:	Type 1	_____	x	_____	=	_____
	Type 2	_____	x	_____	=	_____
	Type 3	_____	x	_____	=	_____

Infiltration existante = _____ (8)

AMÉLIORATIONS PROPOSÉES:

INFILTRATION REVISÉE SELON LA MÉTHODE DES «FISSURES»

		Longeur (m)		Taux d'infiltration [L/(s·m)]		Infiltration totale (L/s)
Portes:	Type 1	_____	x	_____	=	_____
:	Type 2	_____	x	_____	=	_____
	Type 3	_____	x	_____	=	_____
Fenêtres:	Type 1	_____	x	_____	=	_____
	Type 2	_____	x	_____	=	_____
	Type 3	_____	x	_____	=	_____

Infiltration proposée = _____ (9)

Infiltration — portes et fenêtres
Feuille de travail 18-1
Page 3 de 3

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

RÉDUCTION DE L'INFILTRATION (fa):

fa = infiltration existante − infiltration revisée

= _____ (8) − _____ (9) = _____ (L/S) (10)

Réduction totale de l'infiltration (perte de chaleur):

$Q = 1{,}232 \times fa \times (T_2 - T_1)$

= 1,232 x _____ (10) x _____ (3) = _____ (W) (11)

soit = $\frac{\text{_____}}{1\,000}$ (11) = _____ kW (12)

ÉCONOMIE ANNUELLE PRÉVUE PAR ANNÉE:

GAZ:

= 2,95 x _____ (5) x _____ (12) $\frac{\text{_____}}{\text{_____}}$ $\frac{(4)}{(3)}$ = _____$ (13)

MAZOUT:

= 2,73 x _____ (6) x _____ (12) $\frac{\text{_____}}{\text{_____}}$ $\frac{(4)}{(3)}$ = _____$ (14)

ÉLECTRICITÉ

= 16,8 x _____ (7) x _____ (12) $\frac{\text{_____}}{\text{_____}}$ $\frac{(4)}{(3)}$ = _____$ (15)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: _____$ (16)

ÉCONOMIE TOTALE PRÉVUE:

= _____ (13) + _____ (14) + _____ (15) = _____$ (17)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = $\frac{\text{_____}}{\text{_____}}$ $\frac{(16)}{(17)}$ = _____ ans

Transmission thermique — murs
Feuille de travail 18-2
Page 1 de 2

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

EXIGENCES NOMINALES

Température intérieure (T_2) _____ °C (1)

Température extérieur (T_1) _____ °C (2)

(1) − (2) = ____ − ____ = ____ °C (3)

Degrés-jours sous 18°C _____ (4)
(À partir du C.N.B.)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz ---------- ($/m^3$) _____ (5)

Mazout ---------- ($/L) _____ (6)

Élictricité ---------- ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte des charged de pointe)

CHARPENTE MURALE «EXISTANTE»

RSI = _____

$U = \frac{1}{RSI} =$ _____(8)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CONDITIONS «EXISTANTES»

CHARPENTE MURALE «PROPOSÉE»

RSI = _____

$U = \frac{1}{RSI} =$ _____(9)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CHANGEMENTS «PROPOSÉS»

Pour connaître le facteur RSI de différents matériaux de construction, se référer à la section «Matériaux et assemblages» et à la table 1 de l'annexe B.

Transmission thermique — murs

Feuille de travail 18-2
Page 2 de 2

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

Surface murale nette (surface murale − surface de toutes les portes et fenêtres)

Longueur x largeur = _____ x _____ = _____ m^2

Fenêtres (châssis) (−) _____ m^2

Portes (cadre) (−) _____ m^2

Surface murale nette = _____ m^2 (10)

Perte de chaleur (existante) = _____ (8) x _____ (10) x _____ (3)
= _____ W (11)

Perte de chaleur (proposée) = _____ (9) x _____ (10) x _____ (3)
= _____ W (12)

Perte de chaleur (économisée) = _____ (11) − _____ (12) = _____ W (13)
= $\frac{\text{_____}}{1\,000}$ (13) = _____ kW (14)

ÉCONOMIE D'ÉNERGIE ANNUELLE PRÉVUE:

Gaz:

= 2,95 x _____ (5) x _____ (14) x _____ (4) = _____$ (15)
_____ (3)

Mazout:

= 2,73 x _____ (6) x _____ (14) x _____ (4) = _____$ (16)
_____ (3)

Électricité:

= 16,8 x _____ (7) x _____ (14) x _____ (4) = _____$ (17)
_____ (3)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: _____$ (18)

ÉCONOMIE TOTALE ANNUELLE PRÉVUE:

_____ (15) + _____ (16) + _____ (17) = _____$ (19)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = $\frac{\text{_____ (18)}}{\text{_____ (19)}}$ = _____ ans

Transmission thermique — toits
Feuille de travail 18-3
Page 1 de 3

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

EXIGENCES NOMINALES:

Température intérieure (T_2) _____ °C (1)

Température extérieure (T_1)_____ °C (2)

(1) − (2) = _____−_____=_____ °C (3)

Degrés-jours sous 18°C _____ (4)
(À partir du C.N.B.)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz _____ ($/m^3) _____ (5)

Mazout _____ ($/L) _____ (6)

Électricité ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte des charges de pointe)

STRUCTURE DU TOIT
«EXISTANT» — TYPE A

RSI = _____

$U = \frac{1}{RSI} =$ _____ (8A)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CONDITIONS «EXISTANTES»

SURFACE _____ m^2 (9)

STRUCTURE DU TOIT
«EXISTANT» — TYPE B

RSI = _____

$U = \frac{1}{RSI} =$ _____ (8B)

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CHANGEMENTS «PROPOSÉS»

SURFACE _____ m^2 (10)

Pour connaître le facteur RSI de différents matériaux de construction, se référer à la section «Matériaux et assemblages» et à la table 1 de l'annexe B.

Transmission thermique — toits
Feuille de travail 18-3
Page 2 de 3

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ By: _____

STRUCTURE DU TOIT «PROPOSÉ» — TYPE A

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CONDITIONS «PROPOSÉS

RSI = _____

$U = \frac{1}{RSI} =$ _____(8A)

STRUCTURE DU TOIT «PROPOSÉ» — TYPE B

CROQUIS OU DESCRIPTION DES CHANGEMENTS «PROPOSÉS

RSI = _____

$U = \frac{1}{RSI} =$ _____(8B)

ÉCONOMIES D'ÉNERGIE — TYPE A

Perte de chaleur = _____ (8A) x _____ (9) x _____ (3)
(existante) = _____ W (12)

Perte de chaleur = _____ (11A) x _____ (9) x _____ (3)
(proposée) = _____ W (13)

Perte de chaleur = _____ (12) − _____ (13) x _____ (14)
(économisée) = $\frac{\text{_____}}{1\ 000}$ (14) = _____ kW

ÉCONOMIES D'ÉNERGIE — TYPE B

Perte de chaleur = _____ (8B) x _____ (10) x _____ (3)
(existante) = _____ W (11)

Perte de chaleur = _____ (11B) x _____ (10) x _____ (3)
(proposée) = _____ W (17)

Perte de chaleur = _____ (16) − _____ (17) x _____ (18)
(économisée) = $\frac{\text{_____}}{1\ 000}$ (18) = _____ kW (19)

ÉCONOMIE D'ÉNERGIE TOTALE = _____ (15) + _____ (19) = _____ (20)

Transmission thermique — toits
Feuille de travail 18-3
Page 3 de 3

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ By: _____

ÉCONOMIES ANNUELLES PREVUES

GAZ:

= 2,95 x _____ (5) _____ (20) x _____ (4) = _____$ (21)
_____ (3)

MAZOUT:

= 2,73 x _____ (6) _____ (20) x _____ (4) = _____$ (22)
_____ (3)

ÉLECTRICITÉ:

= 16,8 x _____ (7) _____ (20) x _____ (4) = _____$ (23)
_____ (3)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: _____$ (24)

ÉCONOMIE TOTALE ANNUELLE PRÉVUE:

_____ (21) + _____ (22) _____ (23) = _____$ (25)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = _____ (24) = _____ years
_____ (25)

Infiltration — grandes overtures
Feuille de travail 18-4
Page 1 de 3

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

EXIGENCES NOMINALES

Température intérieure (T_2) _____ °C (1)

Température extérieure (T_1) _____ °C (2)

(1) − (2) = ____ − ____ = ____ °C (3)

Degrés-jours sous 18°C _____ (4)

COÛT DU COMBUSTIBLE:
(À partir de factures de fournisseurs)

Gaz ---------- (Cf) ($/m^3) _____ (5)

Mazout ---------- (Cf) ($/L) _____ (6)

Électricité ---------- (Ce) ($/kWh) _____ (7)
(Sans tenir compte de charges de pointe)

OUVERTURES EXISTANTES:

(Donner les détails de la superficie et la fréquence d'ouverture)

Surface de l'ouverture (A) _____ m^2 (8)

Temps pendant laquelle la surface est ouverte/sem. (OT = _____ h (9)

INFILTRATION EXISTANTE:

fa = Eo x A x v x 1000 x OT (voir Notions de base)

= 0,4 x _____ (8) x 1,7 x 1000 x $\frac{\text{_____}}{168}$ (9) = _____ (10), ou

= 4,05 x _____ (8) x _____ (9) = _____ (10)

Infiltration — grandes overtures
Feuille de travail 18-4
Page 2 de 3

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

AMÉLIORATIONS PROPOSÉES:

Surface de l'ouverture (A) _____ m^2 (11)

Temps pendant laquelle la surface est ouverte/sem. (OT _____ h (12)

INFILTRATION RÉVISÉE:

fa = Eo x A x v x 1000 x OT (voir Notions de base)

= 0,4 x _____ (11) x 1,7 x 1000 x $\frac{\text{_____}}{168}$ (12) = _____ (13), ou

= 4,05 x _____ (11) x _____ (12) = _____ (13)

RÉDUCTION DE L'INFILTRATION (fa):

fa = infiltration existante − infiltration revisée

= _____ (10) − _____ (13) = _____ (L/s) (14)

Total des économies en infiltration (perte de chaleur):

$Q = 1{,}232 \times fa \times (T_2 - T_1)$

= 1,232 x _____ (14) x _____ (3) = _____ (W) (15)

soit = $\frac{\text{_____}}{1\,000}$ (15) = _____ kW (16)

Infiltration — grandes ouvertures
Feuille de travail 18-4
Page 3 de 3

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

ÉCONOMIES ANNUELLES PRÉVUES

GAZ:

= 2,95 x _____ (5) _____ (16) x _____ (4) = _____$ (17)
_____ (3)

MAZOUT:

= 2,73 x _____ (6) _____ (16) x _____ (4) = _____$ (18)
_____ (3)

ÉLECTRICITÉ:

= 16,8 x _____ (7) _____ (16) x _____ (4) = _____$ (19)
_____ (3)

COÛT PRÉVU DE L'AMÉLIORATION: _____$ (20)

ÉCONOMIE TOTALE ANNUELLE PRÉVUE:

_____ (17) + _____ (18) _____ (19) = _____$ (21)

PÉRIODE DE RENTABILITÉ = _____ _____ (20) = _____ ans
_____ (21)

Bibliographie

ASHRAE – (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) Fundamentals Handbook, 1981.

Carrier – (Carrier Air-Conditioning Company) System Design Manual, Part 1: Load Estimating.

Egan, M. David – Concepts in Thermal Comfort, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1975.

Lata, J. K. – Walls, Windows and Doors for the Canadian Climate, Ottawa, National Research Council, 1973.

RAIC – (Royal Architectural Institute of Canada), Energy Conservation: Design Resource Handbook, Toronto, The Carswell Printing Company, 1979.